This is a reproduction of a library book that was digitized by Google as part of an ongoing effort to preserve the information in books and make it universally accessible.

Google™ books

https://books.google.com

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

234

914
09
1859
v.2

Library of

Princeton University.

Digitized by Google

MÉMOIRES

DE

L'ACADÉMIE DE STANISLAS,

1859.

—

TOME II.

NANCY

VEUVE RAYBOIS, IMPRIMEUR DE L'ACADÉMIE,

Rue du faubourg Stanislas, 3.

1860

Digitized by Google

Digitized by Google

MÉMOIRES

DE

L'ACADÉMIE DE STANISLAS.

Digitized by Google

L'Académie ne prend point la responsabilité des doctrines et théories contenues dans les Mémoires dont elle vote l'impression.

Nancy, imprimerie de v^e^ Raybois, rue du faub. Stanislas, 3.

Digitized by Google

MÉMOIRES

DE

L'ACADÉMIE DE STANISLAS,

1859.

—

TOME II.

NANCY

VEUVE RAYBOIS, IMPRIMEUR DE L'ACADÉMIE,

Rue du faubourg Stanislas, 3.

1860

Digitized by Google

0914.
.109
1859, v.2

Digitized by Google

MÉMOIRES

DE

L'ACADÉMIE DE STANISLAS.

MÉMOIRES DONT LA SOCIÉTÉ A VOTÉ L'IMPRESSION.

LES

ÉLECTRO-AIMANTS

ET

L'ADHÉRENCE MAGNÉTIQUE,

PAR M. J. NICKLÈS.

AVERTISSEMENT.

On a publié bien des ouvrages sur l'électro-magnétisme et ses applications, mais aucun n'a été spécialement consacré à cet appareil si important, âme de la télégraphie et de l'horlogerie électriques : l'*électro-aimant.*

471994

Digitized by Google

Des recherches spéciales que j'avais entreprises, il y a quelques années sur l'*adhérence magnétique*, m'ayant conduit à examiner à fond les électro-aimants, ainsi que les lois qui les régissent, j'ai eu l'occasion de constater une série de faits nouveaux, dont j'ai publié quelques-uns et qui ont pris leur place dans la science et dans la pratique ; mais un grand nombre de mes observations sont restées inédites. En les publiant aujourd'hui, à la demande expresse d'hommes spéciaux des plus compétents, je me suis efforcé en même temps, de rendre justice à mes devanciers, en faisant, autant que possible, l'historique de la question. Mon travail est ainsi devenu une sorte de monographie de l'électro-aimant, car il contient à peu près tout ce qui concerne cet important agent de la civilisation actuelle.

Jusqu'en 1850, on n'en connaissait que deux espèces: le *fer à cheval* et le *barreau droit,* premier en date, sorti en 1820 des mains d'Arago. De 1850 à 1852 je fis connaître trois types nouveaux : les électro-aimants *circulaires,* les *para-circulairès* et les *trifurqués*, dont les deux premiers, se distinguant par des propriétés particulières, ne tardèrent pas à recevoir des applications.

En résumant l'état de nos connaissances sur ce point, j'entrevis un très-grand nombre de combinaisons électro-magnétiques dont j'ai fait exécuter quelques-unes. Comme elles ne manqueront pas d'être utilisées un jour, il importe, dès aujourd'hui, de les désigner clairement sans exiger trop d'efforts de mémoire. J'ai lieu de croire

Digitized by Google

que cette difficulté est vaincue. A l'aide de la nomenclature adoptée dans cet ouvrage et basée sur une classification qui prend sa source dans les principes de la méthode naturelle, j'ai pu grouper les électro-aimants en familles, et subdiviser celles-ci en genres, en espèces et en variétés. J'ai fait en sorte que les mêmes mots se retrouvent à peu près invariablement dans chaque famille, et que le même ordre préside au groupement des genres et des espèces.

Un soin tout spécial a été donné au côté pratique des électro-aimants, à la construction de ces appareils et à leur mise en train. Par la nature même de la tâche que je m'étais imposée en m'occupant d'électro-magnétisme, j'ai dû, pour gagner du temps, aussi bien que pour éviter des frais inutiles, procéder, autant que possible, du connu à l'inconnu et ne m'en rapporter qu'à l'expérience. On a pu s'assurer par les publications faites par moi sur ce point, que cette méthode n'a été stérile ni pour mes propres recherches, ni même pour l'électro-magnétisme en général.

Aujourd'hui, nous connaissons les conditions à remplir pour tirer d'une masse de fer le meilleur parti magnétique possible; nous savons quelle est l'influence exercée par le noyau, son diamètre, sa longueur et même sa forme, le sens de l'hélice et la manière dont elle est appliquée, la forme et les dimensions linéaires de l'armature, la quantité de fer qui agit sur les pôles; nous connaissons l'action exercée par ceux-ci soit au contact

Digitized by Google

soit à distance, le rôle joué par la configuration des surfaces polaires, etc., etc.; toutes ces questions, si intéressantes pour le praticien, nous les traitons d'après des faits constatés ou vérifiés par nous-même et nous en parlons en parfaite connaissance de cause.

Le dernier chapitre est consacré à l'adhérence magnétique et aux faits qui s'y rattachent. Ces faits ne concernent que les électro-aimants et non la pile ou les courants destinés à les mettre en activité. N'ayant pas grand chose de nouveau à dire sur ce point et n'espérant pas, d'ailleurs, exposer cette partie de l'électricité dynamique mieux que ne l'ont fait mes devanciers, j'ai resserré mon travail dans les limites tracées par le titre, quitte à renvoyer aux traités spéciaux pour tout ce qui a rapport à la pile. A cet égard, on consultera avec fruit les traités de MM. Becquerel, de la Rive, Gavarret, Dumoncel, F. de Castro, etc.

Janvier 1860.

Digitized by Google

CHAPITRE Ier.

DÉFINITIONS ET GÉNÉRALITÉS.

§ 1. On ne connaissait guère plus de deux types d'électro-aimants, il y a une dizaine d'années et ces deux types sont presque contemporains de la découverte faite par Arago, de l'action magnétique que l'électricité exerce sur le fer. Ces deux types sont le barreau aimanté ou *électro-aimant rectiligne* et le fer à cheval ou *électro-aimant bifurqué*. Plusieurs types nouveaux sont venus, depuis, s'adjoindre aux précédents, et, comme chacun d'eux a donné lieu à des espèces et même à des variétés, la liste des électro-aimants a pris une extension dont on jugera à la lecture de ce volume, extension qui justifiera l'essai de classification que nous avons tenté.

Dans cette classification dont le tableau sera donné plus loin, les électro-aimants actuellement connus et ceux que nous allons faire connaître forment deux grandes classes : les électro-aimants *à branches* et les électro-aimants *à disques*.

Les premiers se divisent en électro-aimants droits et en électro-aimants recourbés, se subdivisant eux-mêmes

Digitized by Google

en familles composées d'électro-aimants à deux, trois et plus de trois branches.

Les électro-aimants à disques se divisent en électro-aimants para-circulaires et en électro-aimants circulaires.

Chacune de ces divisions se subdivise en quatre familles d'après le nombre des disques qui les composent ; à leur tour, ces familles donnent lieu à des espèces et des variétés.

On obtient ainsi un total de douze familles que nous examinerons dans l'ordre suivant :

1° les électro-aimants rectilignes,
2° les — bifurqués,
3° les — trifurqués,
4° les — multifurqués,
5° les — para-circulaires unidromes (1),
6° les — — bidromes,
7° les — — tridromes,
8° les — — multidromes,
9° les — circulaires unidromes,
10° les — — bidromes,
11° les — — tridromes,
12° les — — multidromes.

Les genres, les espèces et les variétés qui composent ces familles, se ressemblent tous par les propriétés fondamentales ; ils ont tous, au moins, deux pôles et s'ils en

(1) De *dromos, i, course,* pour rappeler la destination spéciale de ces électro-aimants.

Digitized by Google

offrent davantage, ces centres d'attraction se ramènent à deux qui ont reçu les noms de pôle *austral* et de pôle *boréal*. Pour que ces pôles se développent il faut le concours de l'électricité; de là le nom d'*électro-aimants*. On les appelle aussi : *aimants temporaires*, parce que leur puissance attractive ne dure que ce que dure le courant électrique.

§ 2. Pour obtenir d'un électro-aimant son maximum d'effet il faut avoir égard :

1° A la source électrique qu'on emploie, c'est-à-dire, à l'intensité du courant.

2° A la forme de l'hélice magnétisante, à la manière dont elle est appliquée et au nombre de tours de spire dont elle se compose.

3° A la nature du fil conducteur et à la manière dont il est isolé; à sa longueur et à sa section.

4° Au noyau de fer destiné à être aimanté, à sa nature, à sa forme, à sa longueur et à son diamètre.

5° A l'objet sur lequel l'électro-aimant doit agir.

§ 3. L'aimantation peut être produite par toute espèce d'électricité, la *statique* comme la *dynamique*, ainsi que l'a reconnu Arago. Celle-ci cependant convient le mieux, parce qu'elle est plus aisée à produire et plus facile à diriger.

La source électrique la plus usitée dans ce cas, est donc la pile; le fluide y est puisé au moyen d'un conducteur métallique, convenablement isolé et roulé en spirale autour du noyau à aimanter. Nous verrons bientôt les

Digitized by Google

exigences de cette hélice et la manière suivant laquelle elle doit être mise en relation avec les pôles de la pile pour produire un effet donné.

§ 4. Au nombre des conditions qui viennent d'être énumérées, il en est une qui est générale; elle concerne la nature du fil ainsi que la manière dont il est isolé et appliqué. Le conducteur le plus usité est le fil de cuivre parce que ce métal est un de ceux qui conduit le mieux l'électricité sans être pour cela d'un prix exorbitant. On a vainement essayé de le remplacer par des rubans de cuivre, l'effet produit par ceux-ci est de beaucoup inférieur à celui que l'on obtient avec le fil.

Pour rendre ce dernier suffisamment souple, on le recuit et pour empêcher les tours de spire de l'hélice de communiquer entre eux, on les enveloppe d'une substance isolante, la soie, la gutta-percha ou le coton imprégné d'un vernis résineux, additionné de suif pour donner plus de souplesse à la matière isolante.

§ 5. La manière d'enrouler ce fil n'est pas indifférente non plus et pour s'en convaincre, il suffit de savoir qu'on obtient un pôle austral ou un pôle boréal suivant qu'on donne aux tours de spire, une direction de droite à gauche ou de gauche à droite.

Il faut donc distinguer deux espèces d'hélices :

La *dextrorsum* et la *sinistrorsum*, ou encore l'hélice *dextrogyre* et l'hélice *lævogyre*. La première (fig. 1 *a*, pl. I) se compose d'une série de spires allant de droite à gauche comme dans le tire-bouchon ; dans l'hélice sinis-

Digitized by Google

trorsum (fig. 1 *b.*), les tours de spire vont de gauche à droite. On peut encore les caractériser en disant que dans l'hélice dextrorsum l'enroulement du fil se fait de gauche à droite *en dessus*, et que dans le sinistrorsum, il se fait de gauche à droite *en dessous*. Dans cette définition, on suppose les hélices couchées.

En plaçant un barreau de fer dans une hélice dextrorsum, le pôle magnétique, *nord*, ou *austral* ou *positif*, se forme à l'*extrémité* ou entre le *courant positif*.

Dans une hélice sinistrosum au contraire, le pôle nord ou austral se forme à l'extrémité à laquelle le *courant positif se dégage*.

D'après cela, il est aisé de développer dans une masse magnétique, l'un quelconque des deux pôles, même si l'on n'a à sa disposition qu'un circuit dextrorsum, puisque, avec une hélice pareille, le pôle boréal se forme à l'extrémité qui reçoit le courant positif de la pile. Veut-on au contraire développer le pôle austral, en ce point ? on n'a qu'à intervertir le courant et attacher au pôle négatif de la pile, le conducteur primitivement en relation avec le pôle positif et *vice versâ*.

Même manière d'opérer avec les hélices sinistrorsum ; d'où il résulte que la première hélice venue peut servir à la confection d'un électro-aimant, pourvu qu'elle soit convenablement isolée et que ses tours de spire soient régulièrement enroulés dans le même sens.

Ces deux conditions étant essentielles, il importe de les préciser.

Digitized by Google

§ 6. Si, au lieu de placer un barreau de fer dans une hélice soit dextrorsum soit sinistrorsum, on le plaçait dans une hélice moitié dextrorsum et moitié sinistrorsum, qu'arriverait-il? D'après ce qui précède, la réponse est facile, au point de jonction des deux hélices il se formerait un troisième pôle ou plutôt un troisième point attractif. Avec l'aiguille aimantée on reconnaît de suite la nature de ce pôle et de ses deux voisins (§ 9): contrairement à ce qui se passe avec un aimant ordinaire, l'aiguille accuse le même pôle à chaque extrémité; le pôle de nom contraire se trouve au milieu.

Ce pôle a reçu le nom de *point conséquent;* nous y reviendrons au § 46.

§ 7. L'hélice peut être enroulée directement sur le noyau de fer, ou bien encore elle peut être montée sur une bobine en cuivre, en laiton ou toute autre matière non magnétique et suffisamment résistante.

L'hélice en bobine offre sur celle enroulée directement le grand avantage d'être mobile et de pouvoir facilement se déplacer, cet avantage est compensé par l'inconvénient de la bobine, d'être une cause constante de perte de force, parce qu'elle met toujours un certain intervalle entre le fil et le noyau.

§ 8. De quelque manière qu'on applique le fil conducteur, il importe que ce précieux agent soit parfaitement isolé en chacun de ses points. Bien des systèmes de fils ont été proposés, depuis le fil de cuivre carré, recouvert de gutta-percha sur deux faces contiguës (M. Page),

Digitized by Google

jusqu'à l'hélice en lame de M. Schefzik. Comme il ne s'agit pas ici de faire l'histoire de tous les essais tentés à cet égard, nous ne nous occuperons que du conducteur le plus usité, de celui-là même qui a servi dans les recherches que nous allons exposer.

Ce conducteur est le fil de cuivre recouvert de soie ou de coton imbibé de vernis, ainsi qu'il a été dit au § 4. Il importe, non-seulement, que le fil de cuivre ne repose sur aucun de ses points à nu sur le noyau de fer ou sur les parois métalliques de la bobine, mais il faut veiller avec non moins de soin, que les tours de spire ne communiquent pas métalliquement entre eux par la raison que l'électricité, tendant toujours à suivre le chemin le plus court, passerait directement d'une spire à l'autre et ne suivrait plus le fil qui a pour mission de la multiplier en quelque sorte en lui faisant faire un grand nombre de circonvolutions autour du noyau.

Bien isolé et enroulé dans une bobine convenablement protégée contre les chocs ou les frottements, le fil conducteur peut servir presque indéfiniment sans exiger la moindre retouche. Il est donc nécessaire d'employer du fil dont on puisse répondre, lorsqu'il s'agit de construire des électro-aimants qui doivent durer. Pour s'édifier sur ce point, on a un moyen bien simple. On immerge dans de l'eau acidulée, ou en général, dans un liquide conducteur quelconque, le fil à essayer, avec la précaution de tenir hors de l'eau et parfaitement desséchées, ses extrémités dénudées; l'une de ces extrémités communique

Digitized by Google

avec la pile. Cela fait; au moyen d'un bout de fil de cuivre, on fait communiquer le liquide avec l'autre pôle de la pile; on dispose une portion de ce fil au-dessus d'une aiguille aimantée et parallèlement à elle, ensuite on ferme le circuit. S'il y a fuite, elle sera accusée par un mouvement de l'aiguille et par sa tendance à se mettre en croix avec le courant.

Maintenant, pour trouver le point vulnérable, on retire le fil conducteur par son extrémité libre et on s'arrête lorsque l'aiguille est revenue à sa position normale; remettant ensuite le fil avec précaution, on connaîtra le point dénudé au mouvement que produira l'aiguille, lorsque cette partie du fil sera revenue au contact de l'eau.

Le procédé peut être rendu bien plus sensible en substituant à l'aiguille un galvanomètre, ou, mieux encore un appareil à commotion, comme on le fait pour les cables sous-marins. Nous ne faisons que mentionner ces deux derniers procédés, moins accessibles en général, puisqu'ils nécessitent l'intervention d'appareils qui ne font pas nécessairement partie d'un atelier de mécanique.

Mais voici l'hélice en place; elle a été appliquée directement sur le noyau, ou encore, elle a été montée sur bobine; au bout de quelque temps, elle paraît hors d'usage, car l'électro-aimant n'attire plus le fer, ou tout au moins, il a perdu considérablement de sa force. Ce changement subit dénote une fuite occasionnée, soit par

Digitized by Google

une communication qui s'est établie entre quelques tours de spire et alors l'électro-aimant a conservé une partie de sa force, soit par des contacts qui se sont produits aux deux extrémités de l'hélice, alors l'appareil reste dans une inertie complète quelle que soit l'intensité du courant.

Pour en savoir la cause on s'assure d'abord si la bobine ou même le noyau, ne sont pas en communication métallique avec le fil de l'hélice. Dans ce but, on laisse l'une des extrémités de celle-ci en relation avec la pile et rattachant un fil conducteur à l'autre pôle de la source électrique, on promène le bout libre et dénudé du fil sur les parties métalliques de l'aimant. De vives étincelles jaillissent aussitôt si la communication galvanique s'étend au fer de l'aimant ou à la bobine qui contient l'hélice. Rien ne se produit dans le cas contraire et alors il faut chercher dans l'hélice même, la cause de la déperdition de force ; le procédé à suivre dans ce cas vient dêtre indiqué.

§ 9. On a déjà parlé du parti à tirer de l'aiguille aimantée lorsqu'il s'agit de reconnaître les pôles magnétiques. Son usage cependant est subordonné à quelques conventions sur lesquelles il importe de s'entendre, car elles ne sont pas les mêmes dans tous les traités de physique. Les uns appellent pôle *nord* ou austral de l'aiguille, la pointe qui est tournée vers le nord de la terre et pôle *boréal* au contraire, celle qui regarde le sud.

Digitized by Google

Nous fondant sur ce principe que les fluides de même nom se repoussent et que les fluides de noms contraires s'attirent, nous appellerons avec la majorité des physiciens, pôle *sud* ou *austral* de l'aiguille, la pointe qui regarde le *nord* ou *pôle boréal* géographique, c'est la pointe teinte en bleu. L'autre pointe couleur gris d'acier, qui s'oriente au contraire vers le *sud* ou pôle *austral* de la terre sera pour nous le pôle *nord* ou *boréal* magnétique.

Les expressions de pôle positif et de pôle négatif sont souvent aussi appliquées aux pôles de l'aimant, nous conviendrons que :

Pôle positif est synonyme de pôle nord ou austral ;

Pôle négatif — de pôle sud ou boréal.

§ 10. Un point important à considérer dans la confection des électro-aimants, c'est la nature du métal destiné à servir de noyau. Non pas qu'il puisse être question de métaux faiblement magnétiques tel que le nickel et le cobalt ; il ne s'agit ici que du fer et de ses diverses qualités, car il ne faut pas se le dissimuler, le fer le plus recherché par les mécaniciens, le fer aciéreux et notamment le fer de Suède est celui-là même qui convient le moins à la confection d'aimants temporaires, surtout lorsque ces aimants doivent subir promptement des inversions de courants. Il suffit, en effet, que ce fer ait été, un instant, exposé à l'action d'une hélice traversée par un courant, pour conserver une polarité plus ou moins intense laquelle ne saurait être anéantie qu'à la condition

Digitized by Google

de consommer une quantité correspondante de fluide de nom contraire. C'est cette polarité, parfois si gênante, qui a reçu de M. Poggendorff, le nom de *magnétisme rémanent* (1).

Elle est surtout très-prononcée dans la fonte et dans l'acier; elle prend le nom de *force coërcitive* lorsqu'on opère sur ces métaux; c'est à elle qu'on attribue la propriété des aimants de conserver la polarité qui leur a été imprimée par le courant électrique.

Le fer le plus utile dans ce cas est celui qui perd toute espèce de polarité magnétique dès qu'on supprime le courant. Malheureusement il n'est pas facile de s'en procurer, nous en savons quelque chose, puisque du fer que nous avions préparé avec beaucoup de soin par voie galvanoplastique n'a pas été irréprochable sous ce rapport.

§ 11. Bien que le but que j'avais en vue à l'origine de ces recherches, me dispensât de l'emploi de fer dénué de force coërcitive; je n'en ai, pas moins, examiné la question avec quelque attention. C'était à une époque (1850) où les traités ne s'en étaient pas encore préoccupés.

Je fis confectionner une série de cylindres de fer de diverses qualités et de diverses provenances, ainsi que des cylindres de fonte et d'acier. Ils avaient tous même diamètre et même longueur, seulement les uns furent employés à l'état normal, les autres furent trempés et

(1) *Annalen der Physik und Chemie*, T. LXXXV, p. 153.

Digitized by Google

d'autres enfin, furent soumis à un refroidissement lent.

L'essai fut fait par la méthode suivante : on logea le cylindre dans une bobine qu'on plaça perpendiculairement au plan du méridien magnétique. Elle était disposée de manière à développer un pôle boréal à l'extrémité du cylindre qui regardait l'aiguille. On conçoit donc qu'en établissant la communication galvanique, la pointe australe de l'aiguille fut attirée plus ou moins vivement suivant sa distance au pôle de l'électro-aimant.

Or, en reculant la boussole ainsi intervertie et la faisant cheminer le long d'une règle divisée, disposée dans l'axe de l'aimant et perpendiculairement au plan du méridien magnétique, il arrive un moment où l'attraction exercée par le barreau aimanté, est neutralisée par le magnétisme terrestre. A ce moment, l'aiguille a repris sa position première ; on note cette position qui correspond nécessairement à l'une des divisions de la règle. C'est elle qui servira de point de comparaison.

Cette méthode est depuis longtemps connue ; nous la décrivons parce que nous aurons souvent à l'invoquer. Elle est très-sensible et dans le cas particulier qui nous occupe, elle nous a permis de constater les résultats suivants :

1° Les diverses espèces de fer de forge exercent dans les mêmes circonstances, sensiblement la même action sur l'aiguille aimantée, c'est-à-dire, elles ont la même intensité magnétique.

Digitized by Google

2° Le magnétisme développé par la fonte et l'acier est exactement la moitié de celui du fer de forge.

3° Après la désaimantation, le fer de Suède a, en général, conservé une polarité prononcée, mais les qualités qui en ont retenu le plus sont :

4° Le fer de Suède refroidi dans l'eau ;

5° Les cylindres dont la surface n'a pas été enlevée au tour et qui, par conséquent, était recouverte de battitures ;

6° On n'a pas remarqué de différence entre le fer chauffé au bois et celui chauffé à la houille ;

7° Le fer des forges de Niederbronn (Bas-Rhin), de Châtillon et d'Orgeval se désaimante plus complétement que le fer de Suède.

La conclusion n° 2 a été confirmée depuis par M. Poggendorff.

§ 12. On a fait bien des tentatives pour neutraliser le magnétisme rémanent ou pour paralyser ses effets. L'une des plus heureuses a été proposée par M. Dumoncel ; elle consiste à mettre l'armature sous l'influence d'un aimant permanent dont la polarité est opposée à celle qu'il s'agit de combattre. C'est la modification d'une idée de M. Glaesener dont il sera question plus bas.

Ces essais perdront de leur intérêt si, comme on l'espère, l'industrie nous procure bientôt du fer dénué de force coërcitive. Il paraît, en effet, que M. Cailletet (1)

(1) *Comptes-rendus des séances de l'Académie des sciences*, 20 juin 1859, p. 1113.

Digitized by Google

a réussi à obtenir sur une grande échelle du fer pareil, en exposant, pendant quelque temps, à la chaleur des fours à souder, des plaques de fer du commerce courbées en forme de creuset aplati et très-évasé. Sous l'influence de la haute température du milieu et des gaz qui y circulent, les matières étrangères sont oxydées ainsi qu'une certaine quantité de fer; de sorte que, en même temps, le métal prend une structure cristalline qui paraît jouer ici un rôle essentiel.

C'est par un procédé analogue que M. Froment prépare depuis longtemps les fers appelés à fonctionner dans ses machines électromagnétiques, du moins à en juger par ce qu'il nous a dit dans le temps : le lingot de fer est chauffé au blanc, puis martelé, puis remis au feu et ainsi de suite un grand nombre de fois, jusqu'à ce qu'il ait perdu environ les trois quarts de sa substance.

Il est incontestable que ce traitement a surtout pour effet de brûler les matières étrangères que le fer de forge le plus pur contient toujours dans des proportions plus ou moins grandes. Ces matières sont, en général, le carbone, le phosphore, l'azote, le silicium, l'aluminium ; pour peu qu'il en renferme, le fer offre de la force coërcitive, reconnaissable à la polarité qu'il conserve après avoir été aimanté.

M. Cailletet qui a expérimenté directement la chose va même plus loin, il considère comme demontré que le fer uni à un corps étranger quelconque possède toujours une polarité sensible ; de plus, il pense que l'état amor-

Digitized by Google

phe est favorable à la force coërcitive, tandis que l'état cristallin lui est contraire (1).

En même temps que, par sa combinaison avec des corps étrangers, le fer acquiert de la force coërcitive, il perd de ses propriétés magnétiques ; on en a d'ailleurs la preuve dans ce qui a été dit plus haut au sujet du magnétisme de la fonte et de l'acier, qui n'est que la moitié de celui du fer.

§ 13. D'après cela, on peut conclure que les substances magnétiques renferment le magnétisme dans des proportions limitées et que ce fluide n'est pas développable à l'infini, comme le ferait supposer une loi de MM. Lenz et Jacoby. C'est ce qui résulte d'expériences faites, en 1849, à Fribourg en Brisgau, par MM. Muller et Gartenhauser et qui établissent formellement le fait d'un maximum magnétique, inhérent à toutes les substances susceptibles d'acquérir de la polarité. En opérant avec des cylindres de fer, ces physiciens ont reconnu de plus, que le maximum absolu de chacun de ces cylindres est *proportionnel à sa section*, ou, ce qui revient au même, *au carré de son diamètre*.

§ 14. La loi de MM. Lenz et Jacoby qui a été renversée par ces recherches, n'était pourtant pas sans fondement. D'après ces physiciens « le magnétisme susceptible d'être développé dans un barreau de fer est proportionnel

(1) Haüy, rattachant la polarité des aimants à la polarité électrique de la tourmaline, a pensé que la force coërcitive était produite par la cristallisation. C'est le contraire qui paraît être la vérité.

Digitized by Google

à l'intensité du courant employé.» Sans doute, M. Muller reconnait que cette loi est vraie, seulement, elle se vérifie dans des limites tellement restreintes, que la pratique ne saurait s'en accommoder.

Mais si, au lieu de faire varier le courant on fait varier le diamètre des barreaux, on arrive à cette autre loi dont le côté pratique est facile à saisir, savoir : le magnétisme développé par un courant invariable dans des barreaux de diamètres différents est *proportionnel aux racines carrées de ces diamètres.*

Donc, étant donnés des barreaux dont les diamètres soient entre eux :

$$:: 4 : 9 : 16 : \ldots \quad 100$$

les racines seront entre elles :

$$:: 2 : 3 : 4 : \ldots \quad 10$$

de sorte qu'un barreau du diamètre 100 ne donnera que 5 fois plus d'attraction qu'un barreau dont le diamètre sera *25 fois* moins épais.

D'où il suit que pour tirer le meilleur parti possible d'un courant et d'une masse de fer donnés, il convient de répartir celle-ci en plusieurs barreaux, de façon à faire d'un aimant à grand diamètre plusieurs aimants d'un diamètre moindre.

§ 15. Cette assertion devient palpable par l'expérience suivante, faite peu après la découverte du maximum magnétique avec un certain nombre d'électro-aimants bifurqués que j'avais à ma disposition. Ils étaient construits d'après le système Joule (§ 65) et donnaient chacun,

Digitized by Google

avec un courant déterminé, en moyenne 310 kilogrammes d'attraction au contact ; nous les désignons par A, B, C, etc.

L'électro-aimant A a donné		310 kil.	310
	A+B ont donné chacun	310 soit 310×2 =	620
	A+B+C	275 soit 275×3 =	825
	A+B+C+D	265 soit 265×4 =	1060
	A+B+C+D+E	260 soit 260×5 =	1300
	A+B+C+D+E+F	250 soit 250×6 =	1500
	A+B+C+D+E+F+G	220 soit 220×7 =	1540

Avec 2 électro-aimants on a donc doublé la puissance attractive et les effets du courant ; on a triplé avec 4 et quadruplé avec 5, quintuplé avec 6 et tout porte à croire que le terme de l'augmentation n'était pas encore atteint avec 7 électro-aimants, bien qu'à ce moment l'abaissement eût fortement commencé.

§ 16. Tant que la loi de la proportionnalité de MM. Lenz et Jacoby est applicable aux barreaux de fer, on remarque que ceux-ci ne sont, pour ainsi dire, aimantés qu'à la superficie ; on peut facilement s'en assurer à l'aide d'une expérience qui a été imaginée par M. de Haldat. Le bout d'un canon de fusil étant placé dans une bobine électro-magnétique, on obtient avec l'aiguille aimantée et par la méthode des oscillations, une attraction qui reste la même si l'on introduit un barreau de fer dans le canon de fusil, ou encore si l'on remplace celui-ci par un cylindre massif de même diamètre.

Nous répétons que ce fait est relatif aux faibles intensités, et que le contraire arrive lorsqu'on se sert d'intensités plus

Digitized by Google

fortes, c'est ce que M. Poggendorff a constaté en faisant usage d'un courant trois ou quatre fois plus énergique; non-seulement l'action à distance est augmentée dans ce cas, mais encore le cylindre additionnel est violemment attiré dans l'intérieur du tube par un phénomène dont il sera plus amplement question au § 37.

Les expériences de M. de Haldat sont détaillées dans les *Mémoires de l'Académie de Stanislas*, années 1838, p. 152 et 1844, p. 4. L'idée initiatrice se trouve dans un travail publié dans le volume de l'année 1833; l'auteur y fait connaître ce qu'il appelle les *figures magnétiques*, des figures qu'il ne faut pas confondre avec le fantôme magnétique (§ 29) et qu'il obtient en projetant de la limaille de fer sur des barreaux d'acier, sur lesquels on a promené un aimant; la limaille ne reste attachée que là où le barreau a été touché par le métal aimanté.

Pour ce physicien, cette expérience, ainsi que les précédentes prouvent la tendance du magnétisme à se porter vers la circonférence des aimants. Cette proposition, parfaitement justifiée aujourd'hui, est la conséquence d'une observation déjà faite par Coulomb, suivant laquelle, le magnétisme va en diminuant de la circonférence vers le centre.

De ces recherches ainsi que de celles qui furent faites par sir Snow Harris et par M. de Feilitzsch, il résulte qu'il y a des circonstances (un courant faible par exemple) dans lesquelles des barreaux massifs peuvent être

Digitized by Google

remplacés par des tubes de fer, pourvu que les parois de ces tubes aient une épaisseur en rapport avec l'intensité du courant qui les anime. D'après des expériences de M. Dumoncel, cette épaisseur ne doit pas être moindre que le quart du rayon du cylindre.

§ 17. Nous ne quitterons pas la loi du maximum magnétique sans l'examiner, au point de vue de l'objet sur lequel l'électro-aimant doit agir.

Ici, cet objet s'appelle *armature*. C'est en général une pièce de fer, de masse, de forme et de dimensions variables et qui est destinée à être appliquée aux pôles de l'électro-aimant.

L'armature joue un grand rôle dans la pratique des aimants; le rendement de ces appareils n'est pas seulement subordonné au diamètre des noyaux ou à l'intensité du magnétisme développé; il dépend aussi de la masse de l'armature, de sa forme et de ses dimensions.

Il dépend de sa masse, parce que le fer ne saurait être aimanté à l'infini; ainsi qu'on vient de le voir, il a son maximum magnétique que l'on ne peut franchir ni avec les courants les plus intenses ni avec les plus puissants aimants.

D'où il résulte que l'effet des armatures a une limite qui peut, jusqu'à certain point, être reculée par l'augmentation de la masse de celles-ci. Suivant M. Barral (1), cette augmentation ne doit pas dépasser la masse du

(1) *Comptes-rendus de l'Académie des sciences*, XXV, p. 758.

Digitized by Google

noyau de l'électro-aimant, sinon il y a décroissement dans la charge soutenue par l'armature en contact avec les pôles.

Il y a de nombreuses exceptions à cette proposition qui n'est vraie que d'une manière générale. Nous verrons tout à l'heure les modifications que lui font subir la forme de l'armature et ses dimensions. Elle est vraie lorsqu'on opère avec des courants faibles; elle ne l'est plus en présence de courants énergiques.

Les expériences que nous avons faites à cet égard ont été entreprises avec un électro-aimant en fer à cheval et deux cylindres servant d'armature.

Le noyau de l'aimant avait un centimètre d'épaisseur et quatre décimètres de longueur.

Les armatures offraient les dimensions suivantes :

	diamètre	longueur.
a	$0^m,17$	$0^m,20$
b	0 ,17	1 ,00

tirées du même barreau elles avaient même épaisseur, mais *b* était cinq fois plus long que *a*.

Voici les moyennes déduites des nombres exprimant les charges de rupture :

	4 élém. Bunsen	2 élém.	1 élément.
a	9 kil.	7 kil.	5 kil.
b	9 kil.	6 kil.	3 kil.

On voit qu'en employant quatre éléments, l'armature a pu être allongée impunément jusqu'au quintuple; la diminution ne s'est manifestée qu'avec un courant plus

Digitized by Google

faible. On voit aussi que l'avantage n'est, dans aucun cas, en faveur de l'armature la plus longue.

Ces résultats sont implicitement contenus dans des observations publiées par M. Dub (1), dont voici la conclusion principale : « A égalité d'épaisseur des armatures la force portante grandit avec la longueur de celles-ci ; mais elle s'arrête à une limite qui correspond à un peu moins du double de la longueur de l'électro-aimant. »

En résumé, sous le rapport des dimensions linéaires et pour les actions au contact, l'armature idéale est celle qui est identique au noyau. Après elle, vient l'armature la plus propre à produire avec l'électro-aimant, un aimant fermé ; elle en a l'épaisseur et la masse ; mais elle n'a pas le même développement.

Les armatures les moins bonnes sont celles en lames plus ou moins minces. On verra tout à l'heure qu'il existe un degré d'épaisseur en deça duquel les lames de fer ne conviennent plus du tout aux actions par attouchement direct.

§ 18. Un élément important de la question réside dans la configuration des surfaces polaires.

Ce point spécial est depuis longtemps apprécié des mécaniciens qui construisent des aimants permanents ; ils savent qu'avec un contact ovoïde, convexe ou cylindrique, on obtient un meilleur effet qu'avec un contact terminé par une surface plane. Le grand aimant du

(1) *Annalen der Physik und Chemie*, LXXIV, p. 465.

Digitized by Google

Conservatoire des arts et métiers, qui sort, dit-on, du cabinet du duc de Chaulnes et qui compte près de deux siècles d'existence, ne possède pas seulement une armature à surface convexe, mais les pôles de l'aimant ont eux-mêmes cette forme; ce qui est une exagération, ainsi qu'on le verra plus bas.

Ayant pris trois armatures d'après les formes représentées par les fig. 2, 3 et 4 et agissant sur un même électro-aimant, *E*, M. Dub (1) obtint ce résultat curieux à savoir que *C* (fig. 4) soutenait une charge plus forte que *A*; que *B* (fig. 3) en soutenait une plus forte encore que *C*. Et pourtant, la surface de contact de *C* était la moitié de *A*; celle de *B* était le quart seulement de cette surface et aussi le quart de la masse de *A*.

A une surface de contact amoindrie correspond donc une force portante plus grande. Cette vérité se confirme encore d'une autre manière, c'est-à-dire, quand on renverse les termes de la précédente expérience, en donnant à l'armature un diamètre plus grand que celui du barreau aimanté ou de sa surface polaire.

Je me suis beaucoup préoccupé de ces questions à une époque où l'on était moins édifié sur leur compte qu'on ne l'est aujourd'hui. Voici quelques-uns de mes résultats; comme ils ont été obtenus dans des conditions différentes de celles dans lesquelles mes devanciers

(1) *Annalen der Physik und Chemie*, LXXIV, p. 465. et CV, p. 49

Digitized by Google

étaient placés, ils offrent quelqu'intérêt bien qu'ils ne fassent que corroborer ce qui précède.

Mes expériences ont été faites avec un électro-aimant bifurqué dont les bobines se composaient chacune de 550 tours de spire d'un fil de 1^{mm} d'épaisseur. Le noyau de fer avait $0^{m},015$ de diamètre. Après avoir constaté l'identité d'attraction exercée par chacun des deux pôles (§ 39); on abattit au moyen d'une lime, les arêtes polaires de l'un d'eux; le pôle devint ainsi une surface convexe sur laquelle on fit agir, concurremment avec l'autre pôle, des armatures linéaires de même poids, mais dont la surface était ou convexe, ou cylindrique ou plane; dans ce dernier cas, la surface de contact égalait celle du barreau aimanté. Voici quelques résultats, ils expriment des moyennes tirées de 8 ou 10 pesées.

	Pôle convexe	Pôle plan
	tang. 5° 35′	
	2	
Armature convexe	300	600
— à surface cylindrique	300	540
— à surface plane	610	450
	tang. 5° 35′	
	2	
Armature convexe	305	660
— cylindrique	310	700
— plane	700	500
	tang. 12° 30′	
	2	

Digitized by Google

Armature convexe	650	1320
— plane	1400	900

Enfin, comme contrôle, on prit deux armatures suffisamment longues et plus lourdes que le noyau; droites toutes les deux, elles différaient en ce que l'une était cylindrique et l'autre rectangulaire; on les mit en connexion avec ce même électro-aimant. En ajoutant des poids dans le plateau attaché au centre de gravité de l'armature, on vit celle-ci non pas se détacher toute entière comme cela arrive avec des électro-aimants dont les pôles ont même puissance; elle ne se détacha que particllement : la chute commença par le pôle convexe de l'aimant quand l'armature était cylindrique et par le pôle plan quand on se servait de l'armature rectangulaire.

Le pôle le plus faible se produisait donc, chaque fois, du côté où l'armature offrait la même configuration que la surface polaire; le pôle le plus puissant était là où ces configurations étaient différentes. De sorte que de toute manière, l'électro-aimant paraissait être à pôles hétérodynamiques, c'est-à-dire, de puissance différente bien que le magnétisme développé fût le même de chaque côté.

Cela n'est plus lorsqu'on se sert d'une armature ayant le poids et la forme de l'électro-aimant et portant également un pôle convexe. Quand les deux appareils se touchent par les pôles convexes, on remarque, il est vrai, un affaiblissement en ce point; mais quand, au

Digitized by Google

contraire, ils sont placés de manière à ce qu'à un pôle convexe corresponde un pôle plan (fig. 5 *a, b*), l'attraction est parfaitement régulière, et ce qui est plus intéressant, la charge soutenue est bien plus forte qu'elle ne l'est avec les armatures linéaires dont nous venons de parler.

Aux conditions que nous avons mentionnées au § 17, comme devant être remplies par une armature idéale, il faut donc ajouter celles qui concernent la surface polaire, surface qui ne doit pas être la même pour l'aimant et pour l'armature. Cette condition est facile à remplir, puisqu'il suffit d'augmenter cette surface ou de la diminuer suivant les convenances.

§ 19. La circonstance sur laquelle nous venons d'insister explique un fait observé par Sturgeon, par Pfaff et par M. Joule, savoir que les électro-aimants creux sont plus puissants au contact que les aimants massifs de même diamètre; elle explique cet autre fait de même ordre, connu depuis longtemps, et qui consiste dans la différence d'action que l'on observe avec une lame de fer suivant qu'on la pose à plat sur l'aimant ou qu'on la pose sur la tranche.

Si la lame est petite et mince on ne remarque presque pas d'attraction dans le premier cas, tandis qu'il y en a une assez forte lorsque l'armature est appliquée par la tranche; et si, à la place de la feuille de tôle d'une certaine longueur, on ne prend que des fragments, on voit ceux-ci se dresser spontanément et adhérer assez forte-

Digitized by Google

ment aux pôles par un de leurs côtés, tandis qu'on ne remarque aucune adhérence lorsqu'on les maintient couchés sur la surface polaire (1).

On peut admettre que dans ce dernier cas, le magnétisme normal de la lame de fer ne peut se décomposer, les molécules de cette lame étant toutes beaucoup trop rapprochées de l'aimant pour pouvoir se polariser. Au contraire, par la pose sur tranche, la séparation des fluides devient possible. La preuve qu'il en est ainsi, nous la tirons du fait suivant :

Si, sur la lame posée à plat et par conséquent dénuée d'adhésion, on applique une pièce de fer quelconque, un cylindre, par exemple, on remarque immédiatement une attraction très-forte et ne différant pas trop de la force portante exercée par le cylindre employé sans intermédiaire. On comprend qu'ici la lame et le cylindre ont fait corps en quelque sorte et se sont confondus en une seule armature.

Tout cela se passe au contact d'un seul pôle ; en appliquant la lame sur deux pôles contraires, elle se polarise sans doute ; mais, comme elle est de masse extrêmement faible, son maximum magnétique est bien vite atteint, en sorte que dans cette circonstance encore, une armature épaisse pourra être fortement attirée à travers cette lame. Nous verrons plus loin (Chap. V) une application de ce fait.

(1) On pourrait inférer de cette expérience, que le fer n'est pas toujours attiré par l'aimant.

Digitized by Google

§ 20. Mentionnons enfin une dernière cause capable d'influer sur la puissance attractive agissant au contact; *c'est le temps qu'on a mis à provoquer la chute des poids.* Plus longtemps l'armature reste suspendue et plus forte devient l'attraction. Dans les aimants permanents ce fait est depuis longtemps connu et il n'est certes ignoré d'aucune des personnes qui ont l'habitude des électro-aimants.

§ 21. Ce que nous venons de dire ne concerne absolument que les actions au contact. L'action à distance ou *l'attraction* exige parfois d'autres conditions. Ainsi, on sait par les essais de M. Dub, que :

Relativement *à la masse :* à une faible distance, les armatures de masse égale sont attirées avec la même énergie.

Relativement *au diamètre :* l'attraction décroît d'autant moins vite que les armatures sont moins longues et plus épaisses.

Relativement *à la longueur :* armature et aimant ayant même diamètre, l'attraction ainsi que la force portante augmentent avec la longueur de l'armature, sauf le cas prévu aux § 17, 41 et suivants.

§ 22. Dans les actions à distance, la forme des pôles joue un rôle moins compliqué que dans les actions au contact. La surface qui convient le mieux est une section perpendiculaire à l'axe de l'aimant, attendu qu'une surface convexe, conique, cylindrique, ellipsoïde ou oblique quelconque n'émet pas plus de rayons magnétiques que

Digitized by Google

n'en émet la section normale. Il en est ici comme de la lumière et de la chaleur rayonnante.

De même qu'une lame présentée de champ à un corps lumineux intercepte plus de rayons que lorsqu'elle le regarde par la tranche, de même aussi cette lame sera plus fortement attirée par l'aimant, lorsqu'elle regardera celui-ci par sa face plane la plus étendue. C'est, comme on voit, la contre-partie du fait consigné au § 19.

§ 23. On voit que les rapports entre les électro-aimants et leurs armatures sont modifiés par des causes nombreuses et variées, tant au contact qu'à distance. Il n'est donc pas étonnant qu'on n'ait pas unanimement accueilli la loi de l'attraction magnétique de Coulomb. Les influences que nous venons de signaler masquent cette loi ainsi que l'a reconnu M. Dumoncel.

Dans ce qui va suivre nous admettrons que les attractions et les répulsions exercées par les électro-aimants varient en raison inverse du carré de la distance des centres d'action, qu'elles décroissent comme le carré des distances augmente, et que ces attractions et ces répulsions sont en raison directe de la quantité de magnétisme possédée par les aimants.

Aux répulsions près, ce sont les lois qui régissent le calorique rayonnant et la lumière homogène. Nous admettrons de même :

1° Que les fluides magnétiques rayonnent dans le vide aussi bien que dans l'air ;

2° Que ce rayonnement a lieu dans toutes les directions autour des pôles ;

Digitized by Google

3° Que l'intensité magnétique est d'autant moindre que les rayons sont émis dans une direction plus oblique par rapport à la surface rayonnante.

4° Qu'elle n'est pas la même pour tous les rayons émanés d'un pôle magnétique ou, pour mieux dire, que les fluides ne sont pas également partagés entre les différentes molécules qui composent la masse d'un aimant (§ 16 et 30).

§ 24. Il serait difficile d'établir une classification des armatures aujourd'hui employées; chaque jour amène des formes nouvelles. Ainsi, on connaît des armatures destinées à agir perpendiculairement aux pôles, d'autres qui agissent angulairement ou parallèlement; les unes se meuvent suivant une droite, d'autres suivant une courbe, d'autres sont organisées pour recevoir un mouvement rotatoire, enfin, il en est qui doivent osciller entre les pôles d'un aimant ou de deux aimants. Chaque condition spéciale exige, pour ainsi dire, une forme particulière, ainsi qu'on le peut voir en jetant un coup-d'œil sur quelques appareils électro-magnétiques. Nous n'avons pas la prétention de débrouiller ce chaos au sujet duquel il n'est encore possible d'être d'accord que sur deux points capables de donner lieu à quelques sous-divisions, savoir :

1° Les armatures aimantées;

2° Les armatures non aimantées.

Les premières se subdivisent en armatures aimantées par influence et en armatures-aimants.

Les armatures aimantées par influence, peuvent l'être

Digitized by Google

soit par un électro-aimant comme l'a fait, le premier, M. Glaesener ; soit par un aimant permanent comme le propose M. Dumoncel.

Une autre division est encore possible, savoir :

1° Les armatures de même forme que les aimants ;

2° Les armatures de forme différente.

§ 25. La majeure partie des résultats consignés dans ce livre et touchant la puissance développée, au contact, par les électro-aimants, a été obtenue par la méthode dite des *poids portés*. Elle consiste essentiellement, ainsi que son nom l'indique, à déterminer la charge qu'un aimant peut tenir en suspension jusqu'à rupture, c'est-à-dire, jusqu'à ce que l'armature ainsi surchargée, se détache de l'aimant. Cette opération se fait soit au moyen d'un levier, soit au moyen d'un plateau attaché à l'armature, soit encore au moyen d'un dynamomètre.

Les nombres obtenus par ces moyens ne sont qu'approximatifs et n'offrent de garantie qu'autant qu'on a pu les déduire de beaucoup d'expériences. Tant de causes d'erreurs les entachent, que mieux vaut recourir à l'action par rayonnement, lorsque les circonstances le permettent. Ce procédé que nous avons décrit au § 11, n'est pas le plus accessible et offre des inconvénients lorsqu'il doit être pratiqué dans un atelier de mécanique à cause des masses de fer qui y séjournent ou s'y meuvent et des vibrations et des chocs qui s'y produisent ; d'ailleurs il s'applique difficilement aux électro-aimants bifurqués, surtout lorsque leurs pôles ne sont pas de même intensité.

Digitized by Google

§ 26. Aucun de ces procédés ne permet de juger de la puissance relative de deux électro-aimants comme on juge, par exemple, de la puissance relative de deux lumières. Le procédé dont voici la description donne un commencement de solution; je l'ai imaginé en 1853. Il est basé sur la loi de l'attraction magnétique s'exerçant en raison inverse du carré des distances.

Une table en marbre *l m* parfaitement polie et dressée (fig. 42), porte en *a* une pièce en laiton formant, à la partie supérieure, une sorte de règle *r* contre laquelle viennent buter les pôles de l'électro-aimant. Elle possède la même hauteur que le cylindre de fer *c*, servant d'axe aux deux roues en laiton *rr'*, destinées à rouler sur la table de marbre. Ces deux roues sont effilées sur les bords, afin de réduire autant que possible le frottement au départ.

L'armature est un peu plus longue que la règle, en sorte qu'elle peut être amenée jusqu'au contact de celle-ci.

Après avoir établi la table de niveau, on installe l'électro-aimant de manière à ce que, par sa surface polaire, il vienne s'appliquer contre la surface *r*; il faut en conséquence, que le prolongement de ces pôles passe symétriquement par le cylindre mobile *c*, servant d'armature.

La lame de laiton offre donc un double avantage: d'une part elle règle le parallélisme de la ligne des pôles avec l'armature, ensuite elle en règle la hauteur qui doit être celle de l'armature; cette dernière est cy-

Digitized by Google

lindrique, afin d'écarter, autant que possible, les causes d'erreurs qui pourraient provenir de l'état ou de la forme des surfaces.

Pour se servir de l'appareil, on procède de la manière suivante. Après avoir appliqué par ses pôles, l'électro-aimant contre la règle, on applique d'autre part l'armature mobile, ce qui se peut sans difficulté, la règle étant plus courte que celle-ci. Amenant ainsi l'un contre l'autre et l'armature et les pôles, et les séparant par une feuille de laiton ayant, tout au plus deux millimètres d'épaisseur, on peut, en soulevant ou en abaissant l'électro-aimant, donner à celui-ci la position voulue, laquelle, nous le répétons, doit être telle que l'axe du cylindre soit parallèle au plan qui relie les pôles de l'aimant.

Cette condition étant remplie, on écarte l'armature en la tirant par le fil *f* appliqué en *f* et on l'écarte ainsi de l'aimant. Puis, on cherche par tâtonnement la position à laquelle l'armature cesse d'être à l'état d'inertie, et la ramenant ensuite en deça de ce point, on s'assure aussi du point précis où l'armature n'obéit plus à l'attraction qui la sollicite; mais où le moindre dérangement la fait marcher vers l'aimant. On note ce point, en lisant sur l'échelle divisée qui se trouve sur le marbre, de chaque côté de la poulie; la division notée doit nécessairement passer par le point de contact des roues.

Cela fait, on imprime avec l'index un léger mouvement à la poulie tout en la retenant avec l'autre main, par le fil; on tâche ainsi d'avancer d'un demi-millimètre

Digitized by Google

environ; si l'armature est attirée, il faut peu d'exercice pour s'en apercevoir, dans le cas contraire on n'est pas encore au point.

Si par la tension que le fil a acquise on est averti que l'état de repos est franchi, on abandonne l'appareil roulant; il ne manquera pas de marcher avec une vitesse croissante, vers la force qui le sollicite.

L'appareil une fois bien établi, une opération peut être faite en bien moins de temps que nous n'en mettons pour la décrire.

La distance à laquelle l'aimant commence à agir peut être précisée davantage moyennant deux lectures, l'une faite au moment où l'inertie s'exerce encore, l'autre faite au moment où celle-ci est vaincue. On obtient ainsi une moyenne indiquant la distance à laquelle l'aimant a étendu son action.

Toutes ces opérations peuvent être simplifiées au moyen de l'artifice que voici : au lieu de donner à la table une position horizontale on l'incline légèrement en la soulevant suivant la ligne *l m*, alors, l'armature roulante tend constamment à quitter la lame de laiton et à descendre en suivant la pente, à moins qu'une force agissant en sens contraire ne la retienne. L'aimant exercera cette force; si la pente est très-faible, il faut peu d'instants pour trouver le point précis où l'armature demeure en repos et n'obéit à aucune des attractions qui la sollicitent.

Lorsque ce point est atteint, on retire l'aimant ou

Digitized by Google

encore, on interrompt le courant et aussitôt on voit l'armature quitter son état d'équilibre pour obéir à la pesanteur.

Cette seconde manière de se servir de l'appareil magnétique offre un avantage que ne présente pas celle décrite en premier lieu : elle permet, en effet, un contrôle facile ; car on remarque que l'armature se meut toujours dans le sens de la force la plus puissante et ne reste au repos que lorsqu'elle est assez rapprochée de la source magnétique pour pouvoir résister efficacement à l'action de la pesanteur.

Si l'armature n'était pas retenue par l'attraction magnétique, elle ne partirait pas lorsqu'on éloigne l'aimant. Le point où elle reste en équilibre peut donc être considéré comme un point parfaitement précis pour une pente déterminée.

Lorsque, par la lecture sur l'échelle graduée on a déterminé la distance à laquelle l'armature mobile s'arrête avant de rouler vers l'aimant, on peut remplacer celui-ci par un deuxième et un troisième aimant. On raisonne ensuite sur les résultats comme quand il s'agit de calculer l'intensité relative de deux corps lumineux.

Exemple : on a employé deux aimants m et m'.

Avec m l'armature s'est mise en mouvement à partir de..... $0^m,044$

avec m' ..... $0^m,088$

A ces distances, l'armature est donc également affectée par les deux aimants. Alors les intensités des deux

Digitized by Google

aimants sont directement proportionnelles aux carrés des distances qui les séparent de l'armature, de sorte que m' étant deux fois plus éloigné que m, il faut en conclure que sa force attractive est quadruple de celle de m'.

Tel est, à très-peu près, le rapport qui existe entre les deux aimants employés, car

$$m : m' = 0{,}044^2 : 0{,}088^2 = 19 : 77.$$

Théoriquement, cet appareil peut donc être comparé au photomètre ordinaire; mais les résultats pratiques sont parfois modifiés par des influences subordonnées à la forme de l'aimant et de la surface polaire, ainsi que par la manière d'agir de celle-ci. Ces influences résultent de tout ce qui suit; pour en donner une idée nous renvoyons aux § 51 et 52, où l'on voit que les résultats obtenus par l'action au contact différent parfois, considérablement, de ceux qui ont été fournis par les actions à distance.

§ 27. Le procédé magnétométrique qui vient d'être décrit, est, nous le reconnaissons volontiers, loin d'être suffisamment expérimenté. Le temps et l'occasion m'ont manqué jusqu'ici, bien que l'appareil soit construit depuis plus de six ans. Au reste, ce n'est pas la seule tentative que j'aie faite pour arriver à un mode d'appréciation plus exact que ne l'est celui de la méthode des poids portés. On trouvera plus loin des traces de ces tentatives, notamment aux §§ 40 et 41, où, à côté des nombres qui expriment les poids portés dans des circonstances

Digitized by Google

données, on indique également la charge soutenue *d'emblée* par l'électro-aimant au moyen d'une armature tenant en suspension un plateau garni de poids.

Cette charge est déterminée par tâtonnements ; on la diminue jusqu'à ce que l'armature reste suspendue, dès qu'on l'applique aux pôles. Les résultats fournissent des données utiles ; cependant, ils ne sont qu'approximatifs et n'apprennent quelque chose que lorsqu'il y a une différence notable entre les forces portantes en jeu.

Je ne fus pas plus heureux en essayant un autre procédé qu'on peut appeler procédé par *glissement*. On sait que l'effort nécessaire pour faire glisser une armature sur un aimant ou *vice versâ* est moindre que celui qu'il faut exercer pour déterminer la séparation par voie d'arrachement. Il sera prouvé dans le § suivant que la force à mettre en jeu dans ce dernier cas est triple de celle qu'il faut employer pour déterminer le glissement. Mais dans ce procédé, comme dans tous ceux qui sont basés sur les actions au contact, on a à lutter contre l'état si variable des surfaces, en sorte que les résultats ne sont, également, que très-approximatifs.

§ 28. Pour se servir du procédé par glissement, il s'agit d'abord de bien connaître les rapports qui existent entre le frottement et la pression déterminée par l'action au contact d'un électro-aimant et d'une armature. J'ai entrepris cette recherche en 1851 (1) et je l'ai étendue

(1) *Annales de Physique et de Chimie*, 3e série, t. XL, p. 55.

Digitized by Google

au frottement produit par du fer glissant sur du fer. Les expériences dont l'exposé va suivre ont donc pour objet de rechercher les rapports qui existent sur un plan horizontal :

1° Entre la pression et le frottement de glissement de fer sur fer ;

2° Entre la pression que l'une de ces masses de fer convertie en électro-aimant exerce sur l'autre, et l'effort à vaincre pour faire glisser cet électro-aimant sur son armature.

Pour le premier rapport on admet dans la pratique le nombre 0,33. Si j'ai entrepris de le déterminer à nouveau, c'est que j'avais des raisons de penser que la même loi régit la pression magnétique et le frottement de glissement observé dans cette nouvelle condition. Si les expériences que j'ai faites à ce sujet ne prouvent pas que ce frottement est parfaitement égal au tiers de la pression, comme on l'admet, elles tendent du moins à établir une conformité de rapports entre les deux pressions et les deux frottements. Au reste, j'avais déjà eu l'occasion de reconnaitre pareille conformité entre l'adhérence ou frottement de roulement sous l'influence des surcharges, et l'adhérence ou frottement de roulement sous l'influence de l'attraction magnétique (Chap. XX) en opérant, bien entendu, sur un plan horizontal ; car il est inutile de rappeler que la pression magnétique ou attraction s'exerce normalement à l'armature, quelle que soit l'inclinaison de celle-ci, tandis que la pression pro-

Digitized by Google

duite par des poids agit toujours suivant la direction de la pesanteur ; elle tend, par conséquent, à faire descendre les corps lorsqu'ils se trouvent sur un plan incliné, et oppose une résistance plus ou moins forte lorsqu'il s'agit de monter celui-ci.

L'électro-aimant qui a servi dans les expériences que je vais rapporter était du système de M. Joule (§ 65), ses bobines se composaient de 30 mètres de fil de cuivre de 2 millimètres d'épaisseur ; chacune de ses surfaces polaires avait $0^m,080$ de longueur et $0^m,020$ de largeur. Cet électro-aimant est indiqué dans les fig. 6 et 7 de la Pl. I, qui représentent en élévation et en coupe, l'ensemble des appareils, ainsi que les diverses phases de l'expérience. L'armature consistait dans un bout de rail *e* fixé à niveau sur un banc en bois S ; cette armature et les surfaces polaires de l'aimant avaient été préalablement décapées et polies.

Une corde attachée à l'axe de l'aimant s'engageait dans un système de poulies x, x, et soutenait, à l'autre extrémité, un plateau P destiné à recevoir les poids nécessaires pour déterminer, par arrachement, la force d'attraction. Cette force étant bien connue, on dégagea la corde fixée sur l'axe de l'aimant et l'on en appliqua une autre un peu au-dessus des pôles à la hauteur d'une petite poulie y, placée à l'extrémité du rail ; cette corde, qui passait entre les branches de l'aimant, était fixée sur une petite tige en cuivre qui appuyait en f sur les branches. Un second plateau, plus petit que le précédent, recevait les

Digitized by Google

poids nécessaires pour tirer l'appareil en avant dans le plan du rail.

Cette expérience a été répétée sur l'armature sèche et sur l'armature mouillée avec de l'eau de puits ; les poids portés indiqués au tableau, et qui représentent la pression exercée par l'aimant sur l'armature sont trop faibles de 4 kilogrammes, poids propres à l'électro-aimant : on en a tenu compte dans la colonne des moyennes ; par contre, le glissement horizontal observé était trop fort de 1 kilogramme, représentant l'effort à vaincre pour faire glisser l'électro-aimant non aimanté ; la charge nécessaire pour faire glisser devait donc être diminuée de cette quantité ; elle fut, en effet, réduite à 72 kilogrammes pour l'armature sèche, et à 63^{kil},5 pour l'armature mouillée.

POIDS portés normalement ou pression magnétique.		MOYENNES.	GLISSEMENT horizontal.	MOYENNES.	RAPPORTS.
Armature sèche.	231^k 236 229	232^k + 4 = 236^k	73^k 73 73	73^k — 1 = 72^k	0,50
Armature mouillée.	230^k 224	227^k + 4 = 231^k	63^k 67 63	64,5 — 1 = 63,5	0,27

Le circuit ayant été rompu, on imposa à l'aimant une charge de 252 kilogrammes, appliquée à des crochets

Digitized by Google

m, *m* que cet aimant portait à sa partie supérieure. La corde, partant de l'un d'eux, se rendait à l'autre crochet en passant sous le banc, où elle s'engageait dans la gorge d'une poulie destinée à soutenir le plateau P'. La pression s'exerçait ainsi normalement sur chaque point du rail et de la surface polaire.

PRESSION NORMALE.		MOYENNES.	GLISSEMENT horizontal.	MOYENNES.	RAPPORTS.
Armature sèche.....	236k	236	63k 63	63	0,26
Armature mouillée....	236k	236	60k 58	59	0,25

L'aimant pesant, de son côté, 4 kilogrammes, la charge se composait de 236 kilogrammes, représentant la pression exercée sur l'armature dans la précédente expérience.

Voici, en résumé, les différents rapports qui découlent de ces tableaux :

	PRESSION magnétique.	PRESSION par surcharge.
Rapport de la pression au glissement sur armature sèche.....	0,30	0,26
Rapport de la pression au glissement sur armature mouillée.	0,27	0,25

M. Barral a obtenu le nombre 0,31 comme expression

Digitized by Google

du rapport du frottement à la pression magnétique; comme il ne fait qu'énoncer ce résultat sans donner le détail de ses expériences, j'ignore si la légère divergence qui existe entre ce nombre et le mien tient à la différence des procédés employés, ou à l'état des surfaces en jeu. On voit, en effet, par ce qui précède, que l'humidité de l'armature influence les résultats, tant pour l'adhérence ordinaire que pour l'adhérence magnétique; on voit, de plus, que cette influence s'exerce toujours dans le même sens.

Il eût été intéressant de déterminer l'effort à exercer pour faire glisser l'appareil à la fois aimanté et surchargé, afin de voir si le nombre qui en résulte, représente bien la somme des glissements, de même que la pression représente la pression du magnétisme, plus celle de la surcharge; un accident qui est survenu a anéanti l'échafaudage, et je n'ai pu répéter, depuis, cette expérience qui fut faite au mois de janvier 1851.

§ 29. Nous terminerons ces généralités par l'examen d'un phénomène fort curieux, caractéristique de tout corps aimanté; c'est la propriété d'imprimer une orientation particulière à de la limaille de fer qu'on laisse tomber sur une feuille de papier ou de carton, un carreau de vitre, etc., placé sur eux. Ce phénomène qui se trouve décrit dans Lucrèce (*De Rerum naturâ*) a été soumis au calcul par Lambert, qui a donné l'équation des courbes formées dans cette circonstance par la limaille; il a été tour à tour examiné par Muschenbroek,

Digitized by Google

Leslie, Playfair et en dernier lieu par M. de Haldat, qui a fait faire à la question un pas assez important (1).

M de Haldat appelle *fantômes magnétiques*, les figures ainsi tracées par la limaille et qui sont, en quelque sorte, l'expression visible de la force qui anime les corps doués d'une polarité développée par le magnétisme. Il a eu l'idée de leur donner de la stabilité en appliquant sur elles des feuilles de papier tendu, imprégnées d'empois d'amidon préparé à la gélatine.

Ce procédé permet sans doute d'obtenir la configuration des fantômes, mais il en compromet les détails, et cela se comprend aisément ; tous les physiciens ont pu s'en apercevoir. J'en ai été plus particulièrement frappé dans une occasion récente où je cherchais à fixer les fantômes de quelques combinaisons électro-magnétiques nouvelles ; j'ai donc dû aviser à un autre moyen. Le voici en peu de mots, il est très-simple et réussit pleinement.

Le papier sur lequel le fantôme doit être fixé est du *papier ciré*. Une feuille de ce papier est appliquée sur les pôles que l'on considère et maintenue dans une position horizontale au moyen d'un écran placé entre le papier et l'aimant. On procède ensuite comme à l'ordinaire, et quand l'image est bien développée, on tient au-dessus d'elle une brique chaude, ou mieux encore un couvercle

(1) *Mémoires de l'Académie de Stanislas*, Année 1839, p. 43. Nancy 1840.

Digitized by Google

de creuset, parce qu'il est plus léger et qu'on peut facilement le manier au moyen d'une pince. On a bien soin de ne pas toucher l'image et de n'approcher le corps chaud qu'à la distance nécessaire pour faire fondre la cire. Dès que celle-ci est fondue, ce qu'on reconnaît au miroitement qui se produit, on retire la brique. Pendant ce temps, le courant n'ayant pas cessé d'être en activité, la limaille n'a pas cessé d'être dressée, et c'est dans cette position qu'elle se solidifie, si bien qu'une image fixée ne diffère en rien du fantôme de l'aimant en activité.

Ce résultat se comprend : en vertu de la capillarité, la cire fondue pénètre les agglomérations de limaille à peu près comme l'eau pénètre dans un monceau de sable, la chaleur qui émane de la brique facilite cette imbition en empêchant la cire de se figer, et comme elle n'est pas assez forte pour affaiblir d'une manière sensible le magnétisme développé, le fantôme conserve, après la solidification et dans ses moindres détails, l'arrangement que la limaille de fer avait pris lorsqu'elle a pu librement obéir à l'action de l'aimant.

Une condition indispensable de succès, c'est que la couche de cire soit d'une épaisseur sensible, afin de pouvoir suffire aux besoins des agglomérations, car celles-ci absorbent du corps gras fondu jusqu'à ce qu'elles en soient saturées.

Cette force d'aspiration s'exerce assez énergiquement, on peut s'en apercevoir après le refroidissement, car le

Digitized by Google

papier est dégarni de cire tout autour des agglomérations et diffère ainsi, par l'aspect, des parties où la capillarité n'a pu s'exercer.

On pourra donc, désormais, conserver aux fantômes les reliefs que l'on a vainement cherché à maintenir jusqu'à ce jour, et ce qui sera plus utile encore, on pourra donner de la durée à l'espèce de groupement moléculaire que le fer en poudre affecte lorsqu'il se trouve sous une influence magnétique.

Nous avons fixé ainsi les fantômes des principaux électro-aimants et des principales combinaisons électro-magnétiques dont il va être question. Nous reviendrons sur ces intéressantes figures, en parlant des appareils qui les ont fournies. Constatons, en attendant, que l'on remarque deux espèces de courbes, l'une (fig. 1, 3 et 9, pl. IV, 1 et 4 pl. V.) appelée *convergente* qui se produit quand les pôles générateurs sont de noms contraires; l'autre (fig. 8 et 10 pl. IV, 2 et 3 pl. V.) *divergente* ne se produisant qu'avec des pôles de même nom.

Si ce phénomène accuse infailliblement la polarité magnétique, il n'indique pas à qu'elle espèce de polarité on a affaire; du moins n'a-t-on trouvé jusqu'à ce jour, aucun symptôme qui permette d'apercevoir une différence quelconque entre les fantômes des deux pôles.

§ 30. Mais quelles que soient ces figures si on n'emploie pas un grand excès de limaille on remarque que celle-ci n'accuse que les contours de la surface polaire; elle ne reste ni au milieu de cette surface ni à proximité;

Digitized by Google

la limaille qui tombe dans ces parages vient se fixer sur les arêtes, ce qui établit une fois de plus cette tendance du magnétisme à se rendre à la circonférence des corps (§ 16).

Cependant, le phénomène est susceptible d'être mis en évidence même avec un excès de limaille et alors que la surface polaire en est entièrement recouverte. On n'a, en effet, qu'à promener dans un sens ou dans l'autre, le carreau qui porte le fantôme pour voir immédiatement se produire un creux ou plutôt un vide dans le milieu de l'image, vide correspondant au milieu de la surface polaire.

§ 31. A cette tendance du fluide magnétique de se porter à la circonférence, il faut ajouter cette autre, manifestée par les pôles magnétiques de s'établir de préférence aux extrémités du plus grand axe.

Dans un cylindre, par exemple, dont les surfaces polaires sont coniques, la force se concentre aux extrémités de l'axe et tout autour de lui et non plus à la circonférence. Aussi, lorsqu'on saupoudre de limaille un carreau placé perpendiculairement à l'axe du barreau, on voit la poussière ferrugineuse se fixer d'abord au centre de la figure pour de là progresser vers la circonférence, contrairement à ce qui se passe dans la précédente expérience où la limaille commence par se fixer sur les bords.

§ 32. Les fantômes qui n'ont pas été obtenus avec un excès de limaille offrent tous ce caractère commun de n'être pas continus. Toujours on remarque un vide

Digitized by Google

entre la surface polaire et les courbes, ainsi que l'attestent entre autres les fig. 3, 8 et 11 de la pl. IV.

Relativement à ces vides, nous ferons remarquer qu'ils sont d'autant plus grands que l'aimant est plus puissant; on peut facilement s'en assurer en traçant le fantôme d'un seul et même noyau, aimanté tantôt avec une forte intensité, tantôt avec une intensité faible. La fig. 1 de la pl. V comprend les deux cas. Composée de cinq surfaces polaires, elle n'en offre que deux, les deux extrêmes, présentant les vides en question ; c'est que c'est précisément en ces points extrêmes du barreau que se trouve concentrée la puissance magnétique mise en jeu (Chap. VI).

Cette relation entre l'énergie polaire des aimants et l'étendue des vides permet de remonter, sans effort, à l'origine de ceux-ci. Le phénomène repose purement et simplement sur un effet d'attraction. Celle-ci étant proportionnelle au carré de la puissance de l'aimant, attirera nécessairement d'autant plus de limaille, c'est-à-dire, agira à une distance d'autant plus grande, fera par conséquent un vide d'autant plus grand, que l'aimant aura plus de force.

Dans les fig. 1 et 2 de la pl. IV, les vides sont à peine perceptibles parce que les pôles étaient assez faibles, ou ce qui revient au même, parce qu'il y avait une assez grande distance entre la surface polaire et le papier sur lequel on traça le fantôme.

Il en est encore de même des fantômes 2, 5 et 6 de la pl. V.

Digitized by Google

§ 32 *bis*. On s'est demandé si le fantôme ou spectre magnétique ne pourrait pas servir à étudier la puissance des électro-aimants. M. de Haldat qui s'est posé cette question (1), convient que ce moyen ne vaut pas la méthode des oscillations ; d'autant plus que l'absence d'un terme de comparaison rendrait ce mode d'appréciation fort incertain, s'il s'agissait de déterminer la force absolue. Il n'en est pas de même de la puissance relative de deux aimants ; dans ce cas on oppose les aimants par les pôles de même nom et on remarque alors que les courbes hyperboliques du fantôme (pl. IV, fig. 8.) sont égales si les deux pôles sont de même intensité ; dans le cas contraire on aura des courbes plus étendues les unes que les autres ; les premières correspondront, naturellement, au pôle le plus énergique. La distance où se coupent les asymptotes aux pôles des deux aimants, sera la mesure de leur puissance respective.

(1) *Loc. citato*, p. 51.

Digitized by Google

CHAPITRE II.

PREMIÈRE CLASSE D'ÉLECTRO-AIMANTS.

Electro-aimants à branches.

§ 34. Ces électro-aimants sont des barreaux de fer, cylindriques, carrés ou rectangulaires, d'un diamètre variable. Ils peuvent être droits ou recourbés, et comprendre deux ou plusieurs branches, pourvu que celles-ci soient en relation entre elles au moyen d'une armature en fer ou culasse dont la section ne doit pas être inférieure à la section des branches, par des motifs qui seront exposés plus loin.

S'il suffisait de donner à un électro-aimant une branche de plus pour avoir une famille nouvelle, il serait, à coup sûr, facile de faire des innovations. Si donc, dans notre nomenclature, nous nous servons du nombre des branches pour déterminer la famille, ce n'est que dans une certaine mesure dont la limite est tracée par la propriété même des électro-aimants.

Cette limite commence aux *trifurqués*, elle est parfaitement nette aux électro-aimants à quatre branches. A partir des trifurqués, l'addition de une ou de plusieurs branches ne signifie plus rien et n'ajoute plus grand chose

Digitized by Google

aux propriétés fondamentales; on verra qu'il n'en est pas de même des autres et qu'il y a une différence profonde entre les électro-aimants à une branche ou rectilignes, ceux à deux branches ou bifurqués et ceux à trois ou trifurqués.

Il y en a également entre les aimants à trois branches et ceux à quatre; mais comme il n'y en a plus guère entre ceux à quatre et ceux à 5, 6, 7.... *n* branches, nous confondrons sous le titre d'électro-aimants *multifurqués*, tous ceux qui possèdent plus de trois branches.

Ne sont pas compris sous cette dénomination, des électro-aimants du genre de ceux que l'on voit figurés aux nos 19, 25, 26 et 37 de la pl. I. Ce sont des associations d'aimants qui ne forment pas plus une famille spéciale, que les cristaux mâclés ne forment, à eux seuls, un système cristallin.

C'est que les électro-aimants à branches se prêtent, à merveille, à toutes sortes de groupements ou d'associations : groupement dorsal, latéral ou ventral entre des électro-aimants du même genre; groupement ventral, latéral ou dorsal entre des électro-aimants de genres différents (*groupements hybrides*). Les combinaisons innombrables que l'on peut ainsi réaliser ne méritent pas de former un genre à part et encore moins une famille; elles seront décrites à la suite des genres qui servent à les produire.

§ 35. Le nom générique des électro-aimants à branches est déterminé par le nombre des hélices qui inter-

Digitized by Google

viennent dans l'aimantation ; les expressions numériques mono, di, tri, poly, sont empruntées au grec ainsi que celles qui concernent les hélices : *monocnème*, veut dire une hélice (μονος, une ; Κνημις, ιδος, jambart, chaussure).

Le nom spécifique est dicté par la polarité : *dicnème à pôles isonomes* veut dire un électro-aimant à deux hélices et à pôles de même nom. *Tricnème à pôles antinomes*, signifie un électro-aimant à trois hélices et à pôles de noms contraires.

Après l'espèce vient la variété qui, dans les électro-aimants à branches, tirera son nom de la puissance relative des deux pôles extrêmes. Nous verrons bientôt que ces deux pôles peuvent avoir même puissance ou bien qu'ils peuvent être d'intensité différente : situations nettement définies par les expressions *isodynamique* (ἴσος, égal ; δυναμις, puissance) et *hétérodynamique* (ἕτερος, autre).

La variété sera suivie des formes particulières, ainsi que des groupements. Tel est à peu près l'ordre que nous adoptons sinon d'une manière systématique, du moins d'une manière générale.

Digitized by Google

CHAPITRE III.

PREMIÈRE FAMILLE.

Electro-aimants rectilignes (1) (pl. I et IV).

Genres : 1° monocnème (à une hélice).
2° dicnème (à deux hélices).
3° polycnème (à plusieurs hélices).

Synonymes : El. droits ; El. linéaires ; Barreaux aimantés. Angl. : *Straight Electro-Magnets.* All. : *Stab-elektromagnete.*

§ 36. — *Généralités.* — Rien de plus facile que d'obtenir un électro-aimant rectiligne. Que l'on prenne une barre de fer d'une forme quelconque, cylindrique ou rectangulaire, et qu'on l'introduise dans une hélice préparée avec un fil conducteur convenablement isolé, régulièrement enroulé dans le même sens, et placé dans le circuit de la pile (fig. 8, 9 ou 10) ; la barre sera divisée en deux parties magnétiquement distinctes, faciles à reconnaître

(1) *Procès-verbaux des séances du Bureau des Longitudes,* du 20 septembre 1820.

OEuvres d'Arago (Paris, chez Gide et Baudry) ; T. I des notices scientifiques, p. 409.

Annales de Chimie et de Physique, T. XV, p. 94.

Digitized by Google

au moyen d'une aiguille aimantée. En approchant cette aiguille du pôle A, par exemple, on remarquera que l'un de ses pôles est repoussé, tandis que l'autre est fortement attiré. L'inverse se produira en B, ce qui prouve, évidemment, que la barre de fer a acquis deux pôles magnétiques.

Si maintenant on promène l'aiguille le long de ce barreau, on verra que son pôle boréal primitivement attiré par A, déviera de plus en plus de sa position première et, quand on sera arrivé au milieu du barreau, elle aura pris une position parallèle à l'électro-aimant.

Ce parallélisme persiste tant que l'aiguille est placée au point central de l'aimant, dès qu'elle quitte ce point pour se rapprocher du pôle B, par exemple, elle change de position; c'est maintenant son pôle A qui entre en jeu et qui se trouve sollicité de plus en plus, à mesure que l'on approche du point B, si bien qu'elle sera perpendiculaire à la surface polaire dès qu'elle aura atteint celle-ci; elle se placera alors d'elle-même, dans l'axe du barreau.

Cet électro-aimant se comporte donc comme un aimant ordinaire en acier; de même que lui, il a deux pôles séparés par un *point d'indifférence*, appelé aussi *ligne neutre*.

Ce point est nettement indiqué dans les fantômes (pl. IV, fig. 1 et 2, *n*, *n*) par l'absence de tout rayonnement; il se déplace lorsque la puissance relative des deux pôles change et lorsqu'on présente une armature

Digitized by Google

à l'un des pôles, cette ligne se rapproche du pôle armé pour reprendre sa position première dès que ce pôle sera de nouveau dégagé.

§ 37. Lorsque, dans une hélice suffisamment énergique et placée horizontalement, on introduit par son extrémité, un cylindre de fer assez peu épais pour pouvoir s'y mouvoir librement, le cylindre y entre tout seul et vient spontanément prendre une position symétrique, de sorte que les pôles se trouvent équidistants du point d'indifférence (§ 36). Si l'on cherche à déplacer le cylindre on remarque une certaine résistance qui devient, au surplus, manifeste dès qu'on ne retient plus le barreau ; car aussitôt, celui-ci rentre dans la bobine et reprend sa position symétrique.

En plaçant la bobine verticalement, l'équidistance des pôles n'existe plus, parce qu'alors l'attraction exercée par la première est combattue par la pesanteur. Mais dans ce cas, le cylindre peut même rester suspendu librement dans la bobine par suite de l'attraction exercée par celle-ci. Cette attraction est proportionnelle au carré des courants ainsi que l'a reconnu, en 1853, M. Hankel.

On comprend donc qu'en ouvrant et en fermant alternativement le circuit, on puisse, surtout avec deux bobines placées à la suite l'une de l'autre, réaliser un mouvement des plus curieux qui a été utilisé plus d'une fois déjà dans la construction des machines électro-magnétiques.

C'est aussi cette attraction que M. Becquerel a appli-

Digitized by Google

quée, il y a longtemps, dans la balance qui porte son nom, à la détermination de l'intensité des courants.

Lorsque le courant doit être fréquemment interrompu ou subir des inversions rapides, il faut pratiquer une rainure dans le tube de la bobine. Les inversions se font mieux alors d'après les observations de Savary (1) et de M. Dove. La précaution a peu d'importance suivant M. Abria (2).

Quoi qu'il en soit, cette attraction de la bobine pour le barreau de fer est différente de celle exercée par un aimant, car le pôle boréal de la bobine attire le pôle boréal du barreau après avoir développé ce pôle et de même, le pôle austral attire son isonome de l'aimant, après lui avoir donné naissance.

§ 38. Soit donc un barreau de fer placé dans une hélice traversée par un courant; il aura deux pôles de *même intensité magnétique*, si sa position est symétrique par rapport à la bobine (fig. 8 et 10); ils seront d'intensité différente si l'un des pôles est plus rapproché de l'hélice que l'autre (fig. 9).

Le pôle le plus rapproché sera le plus puissant.

Le pôle le plus éloigné sera le plus faible.

Mais la somme des attractions exercées par ces deux pôles hétérodynamiques sera égale à celle fournie (note A) par les deux pôles équidistants. Les résultantes seront les mêmes.

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, T. XXXIV, p. 5.
(2) *Ibidem*.

Digitized by Google

On peut facilement mettre ces faits en évidence, à l'aide de la méthode par rayonnement (§ 11) ou au moyen du magnétomètre (§ 26). Décrire les opérations à faire serait se répéter, nous n'insisterons donc que sur l'une d'elles, celle qui concerne les pôles inéquidistants.

La boussole étant dans le plan du méridien magnétique et suffisamment éloignée du pôle de l'électro-aimant, (fig. 8), pour ne pas être influencée par lui, on déplace peu à peu l'hélice de manière à la rapprocher du pôle considéré et à lui donner la position indiquée par la (fig. 9); aussitôt on voit l'aiguille se mettre en mouvement et l'un de ses pôles se diriger du côté de l'électro-aimant.

Donc, en se rapprochant de la bobine, le pôle *A* a augmenté de puissance.

Réciproquement, en reculant l'hélice de manière à l'éloigner de l'aiguille on voit celle-ci quitter sa position forcée et se replacer dans le plan du méridien magnétique, d'où il faut conclure qu'en s'éloignant de la bobine, le pôle s'affaiblit.

Cette expérience ayant été répétée sur le pôle *B*, on arrive facilement à cette conclusion, qu'il possède la même puissance attractive que le pôle *A*, qu'il perd de la force ou en gagne dans les mêmes circonstances que lui.

§ 39. De ces faits évidents *à priori*, découle une conséquence importante pour les électro-aimants, c'est que l'hélice doit être aussi rapprochée que possible du pôle du barreau.

Digitized by Google

On peut se demander si l'on n'arriverait pas au même résultat en répartissant le fil tout le long du barreau, de manière à ce que celui-ci plonge tout entier dans l'hélice, ainsi que le représente la fig. 10.

L'expérience répond négativement ; nous en concluons que, pour les électro-aimants rectilignes du moins, le fil conducteur doit être accumulé autour du pôle destiné à agir.

M. Dub est arrivé, avant nous, à un résultat analogue, confirmé depuis par M. Dumoncel. Nous reviendrons sur ce point aux §§ 53 et 178. En attendant nous constatons que cette loi n'est pas toujours vraie : elle se manifeste dans les circonstances ordinaires et chez les électro-aimants communément usités ; elle cesse de se vérifier, lorsqu'on exagère la longueur du barreau ou que l'on diminue, par trop, l'intensité du courant. Les preuves sont consignées dans la note B.

§ 40. Au § 38 nous avons vu qu'en s'éloignant de la bobine, le pôle de l'électro-aimant s'affaiblit, tandis que le pôle antinome, qui s'en rapproche, augmente de puissance.

Il en est encore de même si, laissant le barreau dans sa position dissimétrique (fig. 9) on applique en *A* un bout de cylindre de fer de même calibre que le barreau.

Le pôle *A* sera maintenant en a', à l'extrémité inférieur du barreau, le pôle B qui n'a pas changé de place aura gagné en force, ainsi que l'indique la boussole ou même un simple attouchement avec une lame de fer.

Digitized by Google

Remplaçant ces deux barreaux par un barreau de même diamètre et d'une longueur égale à leur somme, on obtient sensiblement les mêmes résultats, ce qui permet de conclure *que les barreaux aimantés gagnent à être allongés.*

Je n'étais pas le premier qui eût émis cette opinion (1) déjà professée par Descartes et établie, quant aux électro-aimants, par M. Dub. Je ne m'y serais donc pas arrêté si la question n'eût été, pendant plusieurs années, un objet de controverse. Nous y reviendrons plus bas ; en attendant voici comment on peut mettre en parfaite évidence, surtout dans un cours public, le surcroît de puissance qu'acquièrent les barreaux électro-magnétiques, lorsqu'on les allonge, ou, en général, lorsqu'on applique une masse de fer de forme quelconque sur l'un de leurs pôles : étant donné un électro-aimant rectiligne on lui choisit pour armature une pièce de fer dont la masse et la longueur, soient prises de manière à ce que cette armature puisse être attirée sans rester suspendue. A ce moment, on pose sur le pôle supérieur du barreau un cylindre ou une pièce de fer dont le poids égale au moins celui du barreau et, immédiatement, l'armature se suspend au pôle inférieur, y adhère plus ou moins énergiquement, pour retomber dès qu'on retire la masse de fer qui est placée sur l'autre pôle.

Cette expérience qui a été répétée dans une séance de

(1) *L'Institut,* 8 décembre 1852.

Digitized by Google

la Société philomatique (novembre 1852) a paru concluante à toute l'assistance. Je n'ai pas cru devoir m'en contenter, car il restait à savoir si cette augmention de force a lieu indéfiniment ou si elle est sujette à une limite.

Voici un spécimen des opérations que j'entrepris dans ce but :

Je me servis d'un certain nombre de cylindres de fer de même diamètre et de longueur progressivement croissantes :

I avait	$0^m,050$ de longueur
II	0 ,100
III	0 ,150
IV	0 ,200

Et ainsi de suite.

La bobine avait un décimètre de longueur; elle se composait de 94 mètres de fil de cuivre d'un millimètre de diamètre formant 754 tours de spire; elle était rapprochée du pôle B, à peu près tel que le représente la fig. 9, le noyau de l'électro-aimant était le n° III.

Les attractions furent mesurées à l'aide de la méthode des *poids* portés, c'est-à-dire, en déterminant la charge nécessaire pour amener la chute de l'armature qui consistait en un bout de cylindre de même diamètre que le noyau et du poids de 74 grammes; sa surface de contact avait été rendue convexe.

Digitized by Google

TANG. 11° 50′			TANG. 7° 15′ (1)		
SUPERPOSÉ AU NOYAU.	PORTE D'EMBLÉE.	TOMBE AVEC	SUPERPOSÉ AU NOYAU.	PORTE D'EMBLÉE.	TOMBE AVEC
	gr.	gr.		gr.	gr.
O	1700	1750	O	980	1000
N° I	1900	2000	I	1100	1150
II	2000	2150	II	1210	1250
III	2150	2240	III	1260	1300
III + I	2250	2290	III + I	1300	1320
III + II	2290	2300	III + II	1320	1340
V	2300		V	1340	1340-45

Ce tableau renferme deux indications au lieu d'une. La première concerne les poids que l'aimant peut porter dès qu'on en approche l'armature convenablement chargée ; les nombres obtenus sont inscrits dans la colonne « Porte d'emblée. » La deuxième colonne indique la charge de rupture. L'influence, que l'allongement du noyau exerce sur la puissance attractive du pôle en jeu, résulte à l'évidence de ces indications. Les nombres font aussi entrevoir une limite qui cependant n'a pu être atteinte, le courant étant trop énergique. Cette lacune est remplie par le tableau suivant, obtenu avec un courant plus faible, lequel, après l'insertion de l'hélice, marquait :

(1) Dans le vol. xxxvij, 3e série, des *Annales de Chimie et de Physique*, où ces expériences sont rapportées, il a été commis, au sujet des tangentes, une erreur de transposition ; à la place de tang. 11° 40 se trouve tang. 7° 15 et *vice versa*. Hâtons-nous d'ajouter que cette erreur se trouve rectifiée à l'avance dans *Silliman's American Journ. of Sciences*, vol. xv, p. 381, qui publia mon travail quelque temps avant les Annales.

Digitized by Google

tang. 11° 20′

2

SUPERPOSÉ AU NOYAU.	PORTE D'EMBLÉE.	TOMBE AVEC
	gr.	gr.
0	720	800
I	845	1000
II	1000	1050
III	1050	1109
IV	1150	1180
V	1050	1200
VI	1050	1150
VI + I	1000	1150
VI + II	950	1000
VI + IV	930	999
VI + VII	890	940

Le décroissement qui est retardé avec des intensités plus fortes, commence ici à partir de V; cependant, on voit que le phénomène ne change de signe et que l'attraction ne diminue qu'après un arrêt compris entre 1180 et 1150 (3e colonne).

Nous verrons des faits analogues se reproduire dans d'autres conditions touchant les électro-aimants.

§ 41. Il y a dans le premier tableau (p. 63) un autre résultat qui mérite qu'on s'y arrête : alors que le cylindre V détermine par sa superposition, une attraction de 2300 d'un côté et de 1340 de l'autre, les cylindres III + II, ne fournissent que 2290 et 1320, et cependant la longueur totale de ces cylindres placés bout à bout, est égale à celle du cylindre V.

Digitized by Google

On pourrait attribuer cette différence aux nombreuses causes d'erreur qui entachent la méthode des poids portés. Cependant, comme les nombres consignés dans les tableaux expriment des moyennes, je n'ai pas cru devoir me contenter de cette explication.

Les résultats ci-après ont justifié mes doutes; ils ont été obtenus avec le même électro-aimant et un courant réduit, au moyen d'un rhéostat, à la même intensité que le précédent.

Courant de la pile tang. $\frac{55° 15'}{2}$

Courant après l'insertion de la bobine tang. $\frac{11° 20'}{2}$

SUPERPOSÉ AU NOYAU.	PORTÉE D'EMBLÉE.	POIDS PORTÉS.
	gr.	gr.
III	1000	1109
II + I	950	1000
V	1100	1220
II + III	1000	1200
VII	1050	1210
VI + I	990	1100

Il n'est donc pas indifférent de renforcer le noyau avec une seule pièce ou avec plusieurs, ce qui prouve que les solutions de continuité sont nuisibles à l'attraction et qu'il y a plus d'avantage à opérer avec des barreaux homogènes qu'avec des pièces rapportées. J'insiste sur

Digitized by Google

ce point, car il a de l'importance pour la construction des électro-aimants.

Il va sans dire que tous ces résultats sont vérifiés par le magnétomètre ainsi que par la méthode des oscillations ; c'est même par celle-ci que j'ai commencé (note C).

Une même loi régit donc l'action à distance et celle au contact et l'on peut dire que, par l'allongement des électro-aimants rectilignes, la puissance attractive est influencée soit dans un sens soit dans l'autre.

§ 42. Ce que nous venons de dire au sujet des électro-aimants rectilignes à pôles antinomes s'applique de tous points, aux autres aimants de cette catégorie.

Electro-aimants rectilignes à 2 hélices ou à *n* hélices *énallèles* (§ 45), à pôles de même nom ou à pôles de noms contraires, tous, sans exception, se ressentent, soit dans un sens soit dans l'autre, de l'intervention d'une pièce de fer auprès de l'un de leurs pôles, même si cette intervention se fait à distance ou si elle a lieu auprès d'un point conséquent. La forme de cette armature importe peu. Il suffit qu'elle soit en fer pour déterminer un changement dans la puissance attractive.

MONOCNÈMES. (PL. I.)

1° à pôles *isodynamiques*.

2° à pôles *hétérodynamiques*.

§ 43. Nous connaissons ces électro-aimants par ce qui précède : ceux du premier genre se produisent lorsque

Digitized by Google

l'hélice est placée symétriquement aux pôles qui sont alors de même intensité.

Ceux du second se forment toutes les fois que, cette symétrie étant rompue, l'hélice se rapproche plus ou moins de l'une des extrémités.

Dans l'un et l'autre cas, la puissance attractive développée est égale à la somme des attractions produites par les deux pôles. En sorte que ces deux électro-aimants étant obtenus avec le même noyau et le même courant, si a n'est pas égal à a', et si b' diffère de b, il n'en est pas moins vrai que

$$a + b = a' + b' \text{ (1)}.$$

Ces électro-aimants sont fréquemment employés lorsqu'il s'agit de réaliser des actions à distance. Nous avons vu qu'il est possible de renforcer celles-ci en augmentant la longueur du barreau. N'oublions pas que pour un courant donné ce renforcement a une limite que l'on peut, néanmoins, reculer en augmentant l'intensité magnétique.

La fig. 1 de la planche IV représente le fantôme d'un électro-aimant rectiligne à pôles de même intensité ; les courbes y sont exclusivement convergentes et s'étendent régulièrement d'un pôle à l'autre.

Le fantôme d'un seul de ces pôles est représenté par la fig. 11 (voir la note de la page 9).

(1) Sauf toutefois l'exception signalée au § 39 et développée dans la note B.

Digitized by Google

DICNÈMES.

1° à pôles antinomes { isodynamiques. / hétérodynamiques.

2° à pôles isonomes { isodynamiques. / hétérodynamiques.

POLYCNÈMES.

1° à pôles épallèles.

2° à pôles énallèles.

§ 44. Si, à l'autre extrémité du barreau monocnème, on applique une nouvelle hélice également en relation avec la pile, il peut se présenter deux cas : ou l'hélice est de même sens que la première et la continue, ou elle est de sens opposé ; dans le premier cas, rien n'est changé dans la polarité du barreau qui se comportera comme s'il était monocnème ; dans le second cas, il y aura le même pôle à chaque extrémité, l'électro-aimant sera à pôles de même nom § 6.

Pour trouver les pôles de nom contraire nous recommençons l'expérience décrite au § 34 et nous remarquons, non sans intérêt, que cette fois l'aiguille ne s'arrête pas indécise au milieu du barreau ; au contraire elle est fortement attirée vers ce point ; la pointe attirée est précisément l'opposée de celle qui est sollicitée par chacun des deux pôles extrêmes.

Cette espèce d'électro-aimant se caractérise donc par ce fait important qu'un même fluide anime chacune de

Digitized by Google

ses extrémités polaires et que le fluide opposé s'est accumulé entre ces deux points, sur la ligne de rencontre des deux hélices.

Par électro-aimant à pôles *de même nom*, il faut donc entendre, un barreau de fer ayant à chacune de ses extrémités, c'est-à-dire, de ses pôles géométriques, une seule et même polarité magnétique. Le pôle antinome se trouvera, dans tous les cas, entre ces deux points attractifs. Ce pôle porte le nom de *point conséquent* (§ 6).

Une propriété caractéristique du point conséquent, c'est d'être toujours placé entre deux pôles isonomes, soit négatifs si lui-même est positif, et réciproquement. Une autre propriété non moins caractéristique de ce point est de présenter une puissance attractive plus grande que chacun des deux autres points polaires. Nous pouvons ajouter que le pouvoir du premier est le double de l'un quelconque des deux autres, lorsqu'ils sont égaux, et que, dans tous les cas, il est égal à leur somme.

Il va sans dire qu'on peut donner à un électro-aimant autant de points conséquents que l'on veut.

§ 45. Le point conséquent électro-magnétique a été réalisé par Arago (1) le jour même où, d'après le conseil d'Ampère, il avait roulé le fil conducteur en spirale autour du tube de verre contenant le barreau à aimanter ;

(1) *OEuvres de François Arago*, T. I. Notices scientifiques, p. 421.

Digitized by Google

il ne tarda pas, non plus, à reconnaitre la possibilité d'obtenir des points conséquents en nombre indéfini au moyen d'hélices employées en quantité suffisante. Ces points correspondent à chaque nœud qui marque un retour d'hélice, c'est-à-dire, le passage du sens dextrorsum au sens sinistrorsum et *vice versâ*.

De sorte qu'en montant sur un barreau de fer des hélices alternativement dextrorsum puis sinistrorsum, il y aura autant de points conséquents moins un qu'on aura employé d'hélices.

Pour éviter les longueurs nous appellerons disposition *énallèle* (ἐναλλαξ, alternativement), celle d'hélices placées comme il vient d'être dit.

Ces hélices, se regardant par les pôles de même nom, communiquent cette polarité à la portion de fer sur laquelle elles se rencontrent.

Nous appellerons disposition *épallèle* (ἐπαλλελος, qui se succèdent) celle où les polarités naturelles d'un aimant ne se trouvent pas interrompues.

Ces hélices se regardant par les pôles contraires se continuent l'une l'autre. Avec leur point de rencontre coïncide le point neutre, de sorte que, d'une extrémité du barreau à l'autre, la puissance magnétique décroit, ou s'accroit suivant une progression régulière, *sériée*.

Du pôle au point neutre elle va en décroissant, elle s'accroit au contraire quand on suit la marche inverse, mais d'une manière comme de l'autre, il y a succession graduelle, ce qui distingue profondément ces électro-aimants de ceux à pôles énallèles.

Digitized by Google

Des hélices alternativement de sens contraire, de façon à se regarder par les pôles de même nom, formeront donc la disposition *énallèle*.

Des hélices, toujours de même sens, de manière à se regarder par les pôles opposés, constitueront la disposition *épallèle*.

Cette dernière n'a pas d'importance pour les électro-aimants rectilignes; elle revient à n'employer qu'une seule hélice de même sens; aussi, les points qui correspondent à la rencontre des hélices épallèles, sont des *points neutres* (§ 36).

Au contraire, dans la disposition énallèle ces points sont actifs, ce sont des *points conséquents* (§ 44).

Ce fait contient les éléments de toute une série d'électro-aimants, constituant l'espèce rectiligne à 3, 4.... *n* hélices qui figurent sous le nom de *rectilignes polycnèmes* dans la classification adoptée ici.

En les considérant avec attention, on remarque que, sous le rapport de la polarité, ils se divisent en deux catégories ou variétés, savoir : celles à pôles *isonomes* et celles à pôles *antinomes*.

Les caractères généraux de chacune de ces variétés peuvent se résumer en peu de mots :

Les rectilignes polycnèmes à pôles *isonomes* sont engendrés par des hélices énallèles en nombre *pair*. Les rectilignes polycnèmes à pôles *antinomes* portent des hélices énallèles en nombre *impair*.

C'est ce dont on peut s'assurer en comparant les élec-

Digitized by Google

tro-aimants figurés en 12 et 13 (pl. I), ainsi que le fantôme, fig. 2 (pl. IV). La fig. 13 de la pl. I, suffit à elle seule pour vérifier cette loi que nous n'avons vu formulée nulle part. On n'a, en effet, qu'à retrancher, successivement, une bobine pour reconnaître que l'électro-aimant devient isonome avec 4 bobines, antinome avec 3, et de nouveau isonome avec 2.

Nous venons de voir qu'on obtient autant de points conséquents moins un qu'on a employé d'hélices ; ce fait incontestable est nettement traduit par la formule :

$$P = n - 1$$

dans laquelle P représente le nombre de points conséquents, et n, le nombre d'hélices.

Appliquée, par exemple, à la fig. 13, qui compte 5 hélices, elle donne $P = 4$; avec la figure 12, pl. I ou fig. 2, pl. IV, on obtient $p = 1$ car $2 - 1 = 1$.

De même que chez les aimants permanents, les points conséquents nuisent beaucoup à l'attraction ; plus ils sont nombreux et plus la puissance magnétique des pôles se trouve affaiblie et cela doit être, puisqu'à mesure que ces centres attractifs se multiplient sur un barreau, les chances de neutralisation augmentent de leur côté et dans une proportion d'autant plus forte que les pôles contraires sont plus rapprochés.

Nous ne voyons donc, pour le moment, aucun intérêt à développer des points conséquents ; nous en parlons néanmoins parce que, non-seulement, le fait est impor-

Digitized by Google

tant à connaître, mais aussi parce que nous en aurons besoin plus bas.

§ 46. Jusqu'ici, nous n'avons considéré les électro-aimants que comme n'agissant à la fois que par un pôle. Le contraire peut cependant être réalisé avec les électro-aimants rectilignes; pour cela, il suffit d'une armature convenable. La figure 14 présente une de ces opérations : une armature recourbée convenablement agit sur les deux extrémités d'un monocnème à pôles de même puissance. Cette même armature peut, tout aussi bien, servir à relier l'un de ces pôles avec un point conséquent.

Avec elle on peut même rattacher l'un de ces pôles avec le point neutre d'un dicnème (fig. 15). Car il faut savoir que si ce point offre la plus grande neutralité envers la boussole ou à l'égard d'une armature qui lui est présentée dans un sens perpendiculaire à l'axe, il cesse d'être neutre pour peu que cette armature soit influencée par l'un des pôles. Il suffit même de l'incliner légèrement vers l'une ou l'autre extrémité du barreau pour constater une attraction sensible.

On comprend donc qu'à plus forte raison ce point neutre devient actif au contact d'une pièce de fer qui subit déjà, directement, l'action de l'un des pôles.

La grande facilité avec laquelle le fer s'aimante aux approches d'un pôle peut donc devenir une cause d'erreur si on ne prend pas garde à ce qui vient d'être dit; on ne manquerait pas alors d'attribuer au point neutre,

Digitized by Google

une attraction dont il est entièrement dépourvu et on se mettrait en contradiction avec les indications de la boussole et du fantôme.

§ 47. Nous ne mentionnerons que pour mémoire : les électro-aimants creux dont il a été question au § 19 ; ceux en fil de fer qu'on emploie, avec succès, dans les appareils à commotion dont ils augmentent l'énergie ; enfin les électro-aimants à limaille de fer, que M. de Haldat a confectionnés, dans un but théorique, en emprisonnant dans un tube en cuivre du fer pulvérisé.

Nous citons ces diverses formes parce qu'après tout, elles sont du domaine des électro-aimants rectilignes.

Quant aux lois qui régissent l'action que les armatures exercent sur deux ou plusieurs pôles d'un électro-aimant rectiligne, c'est une question qui sera traitée dans les chapitres suivants, chapitres spécialement consacrés à ce genre d'études et ne portant que sur des aimants qui ne sont, en définitive, que des dérivés de ceux que nous venons d'examiner.

Note sur les fantômes des électro-aimants rectilignes (pl. IV).

La fig. 11 représente le fantôme d'un seul pôle. Le barreau était cylindrique et le papier était posé à plat sur la surface polaire. L'électro-aimant ayant eu une certaine intensité, la radiation a pu se produire tout à l'aise. Elle est parfaitement marquée en chaque point de la cir-

Digitized by Google

conférence et cela doit être puisqu'elle n'est troublée par aucune force étrangère.

On y remarquera les vides dont il a été question au § 32 et l'accumulation de la limaille à la périphérie de la face polaire (§ 30).

Dans le n° 1, on voit la figure fantasmatique d'un rectiligne à pôles de noms contraires et de même intensité. Les contours des pôles sont moins nettement accusés, par la raison qu'il y a entre eux et le papier une distance de près de deux centimètres, distance rendue inévitable par l'épaisseur de la bobine. Cependant, la radiation y va régulièrement, d'un pôle à l'autre, en enveloppant tout le cylindre dans une série de courbes concentriques et convergentes.

On peut y remarquer la ligne neutre *n n*, se confondant avec le petit axe de ces courbes ellipsoïdes, là où, par cela même, elles s'éloignent, le plus, du barreau aimanté.

La figure ne change pas si, à l'hélice unique, on en substitue deux de même sens.

Le fantôme de la fig. 2 a été obtenu avec ce même électro-aimant dans lequel on a développé un point conséquent (§ 44) et qui est figuré sous le n° 12, sur la pl. I. Il ressemble aux fantômes qu'on réalise avec deux aimants placés à la suite l'un de l'autre et se touchant par les pôles de même nom. Aussi a-t-il deux lignes neutres, c'est-à-dire, autant de lignes neutres que d'hélices.

Digitized by Google

CHAPITRE IV.

DEUXIÈME FAMILLE.

Electro-aimants bifurqués (Pl. I).

Genres : 1° monocnème ;
2° dicnème.

Synonymes : Fers à cheval ; angl. *bifurcated Electro-magnets ; horse shoe Magnets.* All. *zweischenklige Elektromagnete ; hufeisen-magnete.*

§ 48. — *Généralités.* — Le type des électro-aimants bifurqués est celui que dans notre classification nous appelons *Dicnème à pôles antinomes et isodynamiques* (bifurqué à deux hélices de même intensité et à pôles de noms contraires) ; c'est le *fer à cheval* ordinaire, fig. 16, 17, et 18 ; celui-là même que Sturgeon obtint en 1826, en recourbant, à l'instar des aimants en acier, l'électro-aimant rectiligne, fig. 10. Cet aimant se compose d'un barreau droit, plongé dans une seule hélice. En recourbant ce barreau on obtient, évidemment, la fig. 18, ayant comme le rectiligne dont il dérive, deux pôles de noms contraires. Bien que l'hélice n'ait subi d'autre modification que d'être recourbée en même temps que le barreau qu'elle enveloppe, il n'en est pas moins vrai

Digitized by Google

que, par le fait même de cette opération, elle peut être considérée comme formée de deux hélices de sens contraire; c'est ce qui explique les dispositions adoptées dans les fig. 16 et 17, dans lesquelles on fait directement intervenir deux hélices de sens opposés, reliées entre elles par un prolongement du fil conducteur.

§ 49. On peut donc s'attendre à trouver une grande analogie de propriétés entre ces deux électro-aimants, et si on ne connaissait qu'eux, il n'y aurait aucune nécessité d'établir une classification; mais, ainsi qu'on le verra, chacun de ces deux genres admet des variétés à tel point distinctes du type générateur, qu'elles obéiront à de toutes autres lois.

Ainsi, pour les électro-aimants représentés par les fig. 16, 17, 18 et 20, l'allongement des branches est sans influence sur la force portante; le contraire sera établi pour les bifurqués des fig. 21, 22, 23 et 24.

Pour éviter des répétitions autant que pour faciliter l'intelligence de ce qui va suivre, nous exposerons les lois et les propriétés des bifurqués, dans l'ordre même qui vient d'être établi; nous aurons ainsi deux catégories composées :

La 1re, d'électro-aimants à pôles *antinomes* et *isodynamiques* (fig. 16, 17, 18, 19, 20, 28 et 29).

La 2e, α, d'électro-aimants à pôles *antinomes* et *hétérodynamiques* (fig. 21, 22, 23 et 24).

β, d'électro-aimants à pôles *isonomes et isodynamiques*.

Digitized by Google

7, d'électro-aimants à pôles *isonomes et hétérodynamiques.*

L'une et l'autre de ces catégories comprend des monocnèmes et des dicnèmes ; mais dans la première, les monocnèmes ont les bobines placées symétriquement (fig. 18, 19 et 20).

Chez les monocnèmes de la deuxième catégorie, la position de l'hélice n'est pas symétrique (fig. 21, 22 et 23).

Quant aux dicnèmes, nous avons vu qu'ils dérivent des monocnèmes de la manière la plus simple, puisqu'il suffit de couper en deux l'hélice d'un monocnème et de rapprocher les fractions d'hélice, l'une du pôle *a* et l'autre du pôle *b*, ainsi qu'on l'a pratiqué sur les fig. 16 et 24.

Si le partage de l'hélice a été fait symétriquement, on obtient la forme isodynamique de la fig. 16. Un partage dissymétrique donne, au contraire, lieu à la forme hétérodynamique (fig. 24).

Mais les deux catégories ont de commun la forme du noyau ressemblant plus ou moins à un fer à cheval, c'est de là que dérive le nom, sous lequel on confond ces aimants dans les principales langues de l'Europe.

1^er^ GROUPE D'ÉLECTRO-AIMANTS BIFURQUÉS.

Monocnèmes à pôles isodynamiques ;

Dicnèmes à *pôles antinomes* et isodynamiques.

§ 50. Les membres de ce groupe ont des lois et des exigences que nous résumerons de la manière suivante :

Digitized by Google

1° L'allongement des branches est sans influence sur la force portante ;

2° Il influence, au contraire, l'attraction exercée à distance ;

3° La force portante n'est pas influencée par la forme de l'hélice ; peu importe que celle-ci soit répartie le long du noyau ou accumulée autour des pôles ;

4° Les hélices doivent être placées à égale distance des surfaces polaires ;

5° L'intervalle entre celles-ci et celles-là doit être aussi minime que possible ;

6° L'écart entre les branches polaires exerce de l'influence sur la force portante ainsi que sur la puissance attractive.

§ 51. La proposition du n° 1 a été vérifiée avec deux bifurqués (fig. 16), formés de fil de fer de *un* centimètre d'épaisseur et recourbé en fer à cheval. L'un *m*, avait quatre décimètres de développement total, l'autre *m'*, en avait huit. Les hélices se composaient chacune de 665 tours de spire d'un fil de cuivre de 1 millim. d'épaisseur.

Ces hélices offrent la même résistance lorsqu'elles sont placées dans le circuit. Appliquées symétriquement, elles doivent donc produire des pôles de même puissance. C'est ce qui fut directement vérifié avec des courants variables (note D).

Voici maintenant les expériences faites pour vérifier la loi des forces portantes. L'armature employée est le n° VIII (§ 40).

Digitized by Google

POIDS PORTÉS.	TANG. 4° 20′	TANG. 7° 40°	TANG. 12° 20′
m	5 100 gr.	7 500 gr.	10 500 gr.
	5 200	7 600	10 780
	5 100	•	11 000
m'. . . .	5 000	7 589	11 000
	5 200	7 610	10 590
	5 100	7 500	•

Ainsi donc, l'allongement ne modifie en rien la puissance attractive exercée au contact par les électro-aimants à pôles *antinomes de même intensité*. Ce résultat coïncide avec des expériences faites, d'une part, par MM. Lenz et Jacoby et de l'autre, par M. Muller, sur des électro-aimants en fer à cheval.

Si ces résultats ont été contestés, cela tient tout simplement à ce qu'on n'avait envisagé la question que sous une face. Nous y reviendrons au chapitre XIX et nous verrons alors comment on peut concilier le différend.

Je suis arrivé à des conclusions identiques avec les bifurqués monocnèmes, dont nous avons déjà parlé et qui sont représentés par les fig. 18 et 20. Les noyaux employés sont ceux de la précédente expérience, mais l'hélice était unique et enroulée de manière à épouser facilement la culasse. Avec des clavettes en cuivre, on la maintint à égale distance des pôles.

§ 52. Autre est la loi qui régit l'attraction; dans ce cas, la puissance des pôles n'est pas indépendante de la longueur des branches; au contraire, elle augmente pro-

Digitized by Google

portionnellement aux racines carrées des longueurs des branches.

Cette relation a été découverte par M. Dub (1). Les faits consignés aux §§ 40 et 63 autorisent à penser qu'elle n'est pas vraie indéfiniment et, si l'auteur avait entrepris une seconde série d'observations avec un courant d'une intensité moindre ou des électro-aimants à branches plus longues, il aurait certainement reconnu, d'abord un point d'arrêt et puis, un décroissement *proportionnel aux racines carrées des longueurs*. La loi se continuerait ainsi avec le signe —.

Quoi qu'il en soit, il ne nous paraît pas démontré que cette loi soit d'une grande généralité. Jusqu'à ce jour, je n'ai observé que des faits qui lui sont contraires. Toutefois, je ne pourrais pas me prononcer d'une manière formelle, le temps m'ayant manqué pour soumettre à une vérification attentive cette partie des recherches du physicien allemand.

Mes observations, cependant, ne concernent que les électro-aimants à pôles antinomes et isodynamiques, ou tout au moins ceux dont l'hétérodynamie n'est pas bien prononcée. Les résultats doivent être différents lorsqu'on opère avec des aimants à pôles franchement hétérodynamiques.

§ 53. Nous avons vu au § 39, le rôle joué par l'hélice dans l'attraction des électro-aimants rectilignes. Les au-

(1) *Annalen der Physik und Chemie*, CII, p. 209.

Digitized by Google

teurs de ces expériences n'ont pas hésité à conclure que les électro-aimants quels qu'ils soient gagnent à ce que les tours de spire soient accumulés autour des pôles.

Or, M. Muller ayant, avec non moins de soins, observé le contraire avec des électro-aimants bifurqués, a conclu de son côté, que la forme de l'hélice importe peu ; en sorte que le fil peut être réparti autour du noyau ou accumulé autour des pôles, sans que les résultats cessent d'être les mêmes (1).

On voit que la dissidence est de l'ordre de celle qui concerne l'allongement des barreaux : alors que chez les aimants bifurqués à pôles contraires de même intensité et agissant au contact, il est indifférent que les hélices soient allongées ou raccourcies, l'allongement des hélices a toute son efficacité chez les rectilignes.

Mes propres expériences viennent à l'appui de celles de M. Muller, à la condition toutefois, que les pôles soient de même intensité. Elles ont été faites avec deux électro-aimants, ayant tous les deux mêmes noyaux de fer, chacun garni d'une même longueur de fil de cuivre de même épaisseur. Seulement dans l'un, le fil était accumulé aux pôles, sous la forme d'hélices de sens contraire (fig. 16) tandis que dans l'autre, le fil était réparti tout le long du noyau (fig. 18).

Dans l'un des cas, comme dans l'autre, le point de

(1) *Bericht uber die neuesten Fortschritte der Physik*, 1849, p. 550.

Digitized by Google

départ des bobines était à un centimètre de la surface polaire.

L'un de ces électro-aimants, comme l'autre, m'a constamment donné les mêmes nombres, tant pour l'arrachement de l'armature au contact, que pour l'arrachement à distance, ou pour l'attraction pure et simple évaluée d'après mon magnétomètre du § 26.

Depuis la publication de mes résultats; M. Dub a également opéré avec des électro-aimants bifurqués, et est arrivé aux mêmes conclusions (1). On peut donc considérer comme démontré que, dans les électro-aimants bifurqués, la forme de l'hélice importe peu, en ce sens, que le fil conducteur peut être enroulé tout autour du noyau d'une extrémité à l'autre, ou qu'il peut être réuni aux extrémités sous la forme de bobines. Pourvu que, dans les deux cas, ces dernières soient de même intensité et également distantes des pôles.

§ 54. Pour que l'allongement des branches d'un bifurqué soit sans effet, il est indispensable que les deux pôles *agissent concurremment* sur la même armature. Si on n'opère que sur une branche, on rentre purement et simplement dans le cas des électro-aimants rectilignes. Cela est évident *à priori*.

Une conséquence de ce fait, ainsi que de celui qui a été exposé au § 40, est la suivante : *En saturant l'un des pôles on augmente la puissance de l'autre.*

(1) *Annalen der Physik und Chemie*, T. XC, p. 433.

Digitized by Google

Le bifurqué employé était un des électro-aimants dont il a été question au § 15, seulement les hélices se composaient de 60 mètres de fil de 1 millim. d'épaisseur formant 324 tours de spire.

Courant de la pile tang. $\frac{47° 10'}{2}$

Courant réduit par les hélices tang. $\frac{11°}{2}$

FER AJOUTÉ au PÔLE BORÉAL.	POIDS PORTÉS par le PÔLE AUSTRAL.	FER AJOUTÉ au PÔLE AUSTRAL.	POIDS PORTÉS par le PÔLE BORÉAL.
0 gr.	180 gr.	0 gr.	175-190 gr.
174	328	174	335
	tang. $\frac{15° 10'}{2}$		
0	230	0	255
320	440	320	430
—	—	320	435
390	570	390	575

Il a donc été facile de doubler la puissance attractive de l'un des pôles en armant le pôle opposé.

Toutefois ce rapport n'est pas le même dans tous les cas ; il varie avec :

1° La longueur des branches de l'aimant ;

2° Leur diamètre ;

3° L'écart qui existe entre les deux pôles ;

4° L'intensité du courant ;

5° L'armature ;

Digitized by Google

Mais en général, les lois de ces phénomènes se calquent sur celles qui régissent les électro-aimants rectilignes (§ 40 et 41).

§ 55. La pièce de fer appliquée ainsi à l'un des pôles est souvent douée d'une attraction assez forte pour qu'on puisse lui en adjoindre une seconde et une troisième, le plus souvent au grand profit du pôle contraire. Or si, au lieu de laisser à l'état isolé l'armature de chaque pôle, on vient à les rapprocher de manière à ne plus former qu'une armature, on remarque qu'alors la polarité des deux disparait en tout ou en partie et que, dans bien des cas, l'aimant est devenu capable d'une plus grande puissance encore. Des expériences faites le même jour que celles du § 51 et avec les mêmes appareils ont donné les résultats que nous allons rapporter : ajoutons que l'armature employée était le cylindre n° VIII ; elle avait donc 4 décimètres de longueur ; son épaisseur était de 0,015 et elle pesait 525 grammes.

Pour déterminer l'attraction exercée par un pôle on l'appliquait par une de ses extrémités taillée en cylindre, afin de se placer, autant que possible, dans les mêmes conditions ; l'autre extrémité portait un crochet destiné à recevoir le plateau.

Inutile de rappeler qu'en opérant sur les deux pôles on appliquait l'armature dans le sens de sa longueur.

Digitized by Google

AIMANTS.	1 PÔLE. α	2 PÔLES contraires. β	RAPPORT $\frac{\beta}{\alpha}$
	tang. 4° 20′		
[1] m	600 gr.	5,100 gr.	8,5
[1] m'	500	5,000	10
	tang. 7° 40′		
[2] m	2,500	7,500	3
[2] m	2,500	7,600	3
[2] m'	2,000	7,610	3,8
	tang. 12° 20′		
[3] m	2 600	10,700	4,1
[3] m'	3,500	11,000	3

Les nombres inscrits dans la cinquième colonne et exprimant les rapports qui existent entre les poids portés par un pôle et ceux portés par deux, nous apprennent que la différence *maxima* se produit, lorsqu'on emploie des intensités faibles, et cela se conçoit : dans [1] le courant est assez réduit pour que l'électro-aimant m', de longueur double de m ait franchi son point d'arrêt et soit entré dans la phase du décroissement, tout comme les électro-aimants rectilignes très-allongés (§§ 40 et 43), avec lesquels il est parfaitement comparable, tant qu'on n'opère que sur un pôle. Mais plus les nombres sont faibles, plus grande sera la différence, car les résultats de la colonne β sont invariables pour les mêmes intensités, l'allongement des branches polaires n'ayant, dans ce cas, aucune influence sur la force portante.

Digitized by Google

Voilà donc deux moyens, propres à augmenter le rendement d'un électro-aimant à deux pôles contraires : l'intervention simultanée des deux pôles ; la saturation de l'un d'eux. Là où le premier moyen est inapplicable on peut efficacement recourir au deuxième. Nous trouverons occasion de mettre ces faits-là en pratique.

Monocnèmes à pôles hétérodynamiques (Pl. I).
Dicnèmes à pôles antinomes et hétérodynamiques (pl. I).

§ 56. Dans les pages qui précèdent, j'ai beaucoup insisté sur la nécessité de s'assurer de l'état dynamique des pôles des électro-aimants à deux bobines avant de procéder aux expériences. On n'a pas songé à cette condition, et personne, que je sache, n'en a encore parlé. Son inobservance est probablement pour beaucoup dans la divergence des résultats obtenus par les expérimentateurs.

Pour réaliser l'isodynamie, il n'est pas indispensable d'opérer avec des hélices de même intensité ; le résultat peut être atteint avec deux hélices n'ayant pas la même longueur de fil ou le même nombre de tours de spire, puisque la puissance du pôle peut être augmentée ou affaiblie suivant qu'on rapproche ou qu'on éloigne l'hélice magnétisante.

Peu importe donc de quelle manière on s'y prend pour obtenir des pôles de même intensité, l'essentiel est que cette condition soit remplie, lorsqu'on veut étudier les lois des électro-aimants bifurqués, sinon, on tombe dans des contradictions peu profitables à la science ; on peut s'en assurer par ce qui va suivre.

Digitized by Google

Aux électro-aimants et notamment à celui de la fig. 20, que nous venons d'examiner et auxquels nous avons reconnu des pôles de même intensité, opposons maintenant celui de la fig. 21 ; le simple bon sens dira qu'ici, les pôles doivent être d'intensité différente : que A doit être très-fort puisqu'il est sous l'influence immédiate de la bobine ; que le pôle B, au contraire, doit être assez faible, car il est loin de la source. L'expérience justifie ce raisonnement.

Sortons maintenant des conditions extrêmes et suivons le phénomène pas à pas. Relevons l'hélice de la fig. 21 et rapprochons-la peu à peu de la courbure ; nous savons déjà qu'à mesure qu'elle quitte le pôle, celui-ci s'affaiblit tandis que le pôle contraire se renforce (§ 38); il y aura donc hétérodynamie entre les pôles des fig. 22 et 23, et il en sera ainsi jusqu'à ce que l'hélice soit arrivée à la position symétrique représentée dans la fig. 20.

§ 57. Puisque l'électro-aimant (fig. 21) possède, en partie, les propriétés du fer à cheval, il est clair que ses variétés (fig. 22 et 23) se comporteront comme des variétés hétérodynamiques de l'aimant à deux hélices. Ces monocnèmes ont des pôles d'intensité différente, mais un bifurqué à deux bobines, dont l'une est plus faible que l'autre, de la moitié, d'un tiers ou d'un quart (fig. 24), sera également hétérodynamique et l'analogie nous dit que dès lors, l'attraction par les deux pôles se ressentira de cette situation et se laissera influencer par la longueur

Digitized by Google

des branches. C'est encore ce que l'expérience confirme; les résultats obtenus sont à mettre en ligne avec ceux du § précédent. Une bonne partie en a été publiée dans *Silliman's American Journal of science and arts*, vol. XV, mai 1853, p. 380.

Ces divers aimants en ont un de commun, c'est celui de la fig. 21, dont nous venons de parler et que nous retrouverons dans la fig. 25. Je l'ai étudié dès 1851; depuis lors, M. Dumoncel lui a donné le nom d'électro-aimant boiteux. Nous reviendrons, au chapitre XIX sur cette dénomination.

Pour obtenir ce monocnème on n'a qu'à supprimer l'une des hélices des fig. 16, 17 ou 24.

Les expériences relatives à l'allongement des branches ont été faites avec des monocnèmes ayant pour noyau ceux-là même qui ont servi au § 51; la seule différence qu'il y avait entre les aimants employés dans ces expériences, c'est qu'on a supprimé une hélice. Cette suppression a des conséquences importantes; — maintenant, en effet, l'allongement des branches exerce une influence réelle mais subordonnée à l'intensité magnétique développée. A de faibles intensités, il se manifeste en ce sens que la force portante de m, l'aimant le plus court, l'emporte sur m' qui est deux fois plus grand.

Ces rapports changent quand l'intensité augmente.

Exemple :	Tang. 4° 20′	Tang. 12° 20′
m	1800 gr.....	3500
m'	510 gr.....	3600 4000

Digitized by Google

§ 58. Cet électro-aimant est le plus puissant de tous les monocnèmes à pôles hétérodynamiques et cela doit être, car l'unique hélice qu'il possède se trouve aussi près que possible de la surface polaire. S'il est vrai qu'en général, la quantité de magnétisme développée par une hélice est la même, quelle que soit la position de celle-ci sur le barreau (§ 43), il est vrai aussi que les résultats sont bien différents lorsqu'on agit à la fois sur les deux pôles, comme cela se pratique avec les électro-aimants bifurqués.

Voici à cet égard quelques faits constatés par l'action à distance, au moyen de mon magnétomètre.

On a donné à l'hélice quatre positions distinctes, de manière à l'éloigner de plus en plus du pôle.

N° 1 représente la position de l'hélice, fig. 21.

N° 2 (fig. 22), l'hélice rapprochée davantage de la courbure, était à 0,055 du pôle.

N° 3, l'éloignement était de 0,10.

N° 4 (fig. 23) l'éloignement était de 0,18; l'hélice touchait à la culasse.

L'aimant étant couché parallèlement à la table du magnétomètre, ces positions furent obtenues facilement en reculant ou en avançant la bobine.

Ajoutons que la table du magnétomètre était légèrement inclinée, ainsi qu'il est dit au § 26.

Voici les distances auxquelles l'armature mobile est restée en équilibre :

Digitized by Google

Avec le n° 1 à 43 millimètres
n° 2 28 —
n° 3 25 —
n° 4 20 —

Réciproquement, le rayon d'activité augmentait à mesure qu'on rapprochait l'hélice du pôle, on contrôla ainsi les résultats qui viennent d'être mentionnés.

§ 59. Le monocnème à pôles hétérodynamiques est usité sous diverses formes ; la plus fréquente est représentée par la fig. 14 dans laquelle on peut voir aussi un électro-aimant rectiligne muni d'une armature recourbée en fer à cheval, de façon à agir sur les deux pôles. Dans la première hypothèse, on peut dire, c'est un électro-aimant boiteux portant une armature p', articulée en s, sur le pôle p, qui est dénué de bobine. Dans la seconde, l'armature se compose de deux pièces p, p' rattachées l'une à l'autre au moyen d'une articulation, s. Nous préférons la première opinion.

Mise ainsi en communication directe avec l'un des pôles de l'aimant, l'armature p' devient capable de produire un mouvement angulaire. Ce mouvement, sans doute, ne vaut pas le mouvement normal par la raison qui est spécifiée au § 23 n° 3 ; cependant, il est utile dans bien des cas et M. Robert Houdin en a tiré un parti très-avantageux dans son répartiteur. On l'employe aussi beaucoup dans l'horlogerie électrique.

Ainsi que l'a reconnu M. Dumoncel, l'action à distance de ce système peut être augmentée en articulant l'arma-

Digitized by Google

ture sur le pôle qui porte l'hélice; cela doit être, ce pôle étant, de beaucoup, le plus énergique des deux.

DICNÈMES A PÔLES ISONOMES.

α. *Isodynamiques* (pl. I).

β. *Hétérodynamiques.*

§ 60. Nous n'avons pas encore épuisé les combinaisons diverses que l'on peut réaliser avec les deux hélices et le noyau du fer à cheval ordinaire. Par exemple, prenons la bobine B de cet aimant (fig. 16 et 17) et retournons-la : nous aurons évidemment une hélice de même sens que A; elles seront dextrogyres toutes les deux et, par conséquent, notre fer à cheval aura deux pôles de même nom, ainsi que l'atteste le fantôme fig. 8 (pl. IV), si différent de celui (fig. 3) obtenu avec un bifurqué à pôles antinomes. Est-ce à dire que ce fer à cheval n'aura pas de pôle opposé? Explorons l'appareil avec une aiguille aimantée ou, à défaut, traçons le fantôme de cet aimant, nous reconnaîtrons que le pôle opposé s'est logé en *c*, entre les deux hélices, c'est-à-dire, dans la culasse; nous reconnaîtrons de plus que ce bifurqué rentre dans la catégorie des aimants à points conséquents (§§ 6 et 44); car il a un pôle situé entre deux autres qui sont hétéronomes avec lui et isonomes entre eux.

Nous pouvons varier l'intensité de l'une des hélices, la rendre plus forte ou plus faible que sa voisine et obtenir ainsi un fer à cheval à pôles de mêmes noms et de

Digitized by Google

forces différentes, ou si l'on veut à pôles isonomes et hétérodynamiques.

L'attitude de cet aimant à l'égard des armatures se calque sur celle des électro-aimants rectilignes : sa *force portante* augmente avec l'allongement des branches jusqu'à une certaine limite à partir de laquelle il y a décroissement.

On en voit la preuve dans le tableau suivant, obtenu avec les mêmes appareils et dans les mêmes conditions que les expériences rapportées au § 51.

AIMANTS.	TANG. 4° 20′.	TANG. 7° 20′.	TANG. 12° 20′.
m	2,500 gr. 2,300	4,800 gr. 5,000	7,000 gr. 6,900
m'	3,600 3,300	5,800 6,000	9,000 8,600

Combinaisons diverses des bifurqués.

§ 61. Nous pouvons associer deux à deux, trois à trois, n à n, les électro-aimants bifurqués que nous venons de décrire et obtenir ainsi des électro-aimants doubles, triples, dont les fig. 19, 25 et 26 peuvent donner une idée.

§ 62. Enfin nous pouvons réaliser cette association d'après la manière indiquée par la fig. 27, et obtenir alors un *monocnème* double, triple, multiple, soit à pôles isodynamiques, soit à pôles hétérodynamiques.

Digitized by Google

Mais de quelle manière se distribuera le magnétisme dans cet aimant double? L'aiguille aimantée nous apprendra que les pôles se trouveront aux extrémités du noyau, dont les branches forment le prolongement.

C'est, si l'on veut, un électro-aimant rectiligne ayant à chacun de ses pôles une ou plusieurs armatures allongées.

Se comportera-t-il à l'égard des armatures, comme le font les électro-aimants rectilignes? Oui, si celles-là n'agissent que sur des pôles de même nature, non si elles attaquent à la fois les pôles opposés; ce dernier cas rentre dans les électro-aimants bifurqués (§ 59).

Ne voulant pas accorder trop de place à ces appareils qui, pour le moment du moins, n'offrent pas d'importance sérieuse, nous devons nous borner à les signaler et à prévenir que leurs principales propriétés ne diffèrent pas grandement des types avec lesquels on les a produits.

§ 63. En jetant un coup-d'œil sur les fers à cheval dessinés dans les traités et sur ceux qui figurent dans les collections de Paris, j'ai été, dès le début de ces recherches, frappé de ce fait, en apparence peu important, que dans ces appareils la distance entre le pôle A et le pôle B, c'est-à-dire, l'écart, variait singulièrement; on en voit un spécimen dans les fig. 16 et 28. Et quand on interrogeait les gens du métier, on obtenait invariablement pour réponse que l'*écart* ne faisait rien à l'affaire. Je m'y suis laissé prendre d'abord, mais ma foi dans l'opinion com-

Digitized by Google

mune ayant été ébranlée par ce que m'avaient appris les électro-aimants circulaires, je pris le parti d'aborder directement la difficulté. J'avais déjà quelques résultats concordants entre eux et discordants avec l'opinion reçue quand parut aux *Annales* de Poggendorff (1), un mémoire de M. Dub sur la question, mémoire qui confirmait, sans restriction, l'opinion reçue. Ce physicien avait opéré sur 6 électro-aimants en fer à cheval construits exprès et ne différant entre eux que par l'écart entre les branches. Cette distance variait depuis 5 pouces et quart jusqu'à 2 pouces et demi; c'est-à-dire, de 136 millimètres à 0,065, le pouce étant égal à $0^m,026$.

C'est donc en opérant avec ces électro-aimants que M. Dub est arrivé à cette conclusion : « Quelle que soit la distance entre les branches polaires d'un électro-aimant, l'attraction de même que les forces portantes demeurent les mêmes, pourvu qu'on ne change rien à la longueur des branches. »

Disons de suite que ces conclusions, vraies dans de certaines limites, sont trop absolues, attendu que l'écart entre les branches d'un électro-aimant exerce une influence des plus sérieuses et des moins contestables.

J'ai fourni mes preuves en 1854 (2). Elles ont d'autant plus de poids, que, depuis, M. Dub les a confirmées

(1) T. XC, p. 450.

(2) *Comptes rendus de l'Académie des sciences* XXXIX p. 635, et avec plus de détails dans les *Mémoires de l'Académie de Stanislas*, 1855, p. 63, ou *American Journal of science and arts*, vol. XX, p. 99.

Digitized by Google

après une vérification attentive (3). Voici un extrait de mon mémoire :

Les faits que j'ai à faire connaître ne contredisent pas les résultats de ses observations (M. Dub), mais ils infirment la conclusion qu'il en tire. Pour mieux le prouver j'opèrerai comme lui, avec des électro-aimants bifurqués. L'appareil dont je fais usage est un électro-aimant en fer à cheval (fig. 30) dont l'une des branches *a* est mobile et susceptible d'être déplacée ; l'armature de jonction, ou culasse avec laquelle ces branches forment le fer à cheval, est une barre de fer rectangulaire, *c*, d'une longueur appropriée, munie d'une rainure dans le sens de l'axe ; la branche fixe, *a'* est rivée à l'une des extrémités de cette rainure ; la branche mobile est munie d'un épaulement qui lui permet de voyager sans sortir de la rainure ; des trous pratiqués de distance en distance dans la culasse *c* permettent de fixer, au moyen d'une cheville, la branche polaire *a* qui est destinée à être déplacée. Les deux branches se terminent en ligne droite à leur extrémité inférieure ; l'extrémité supérieure est recourbée ; le rayon de la courbure est plus grand que le rayon de la bobine, de sorte que les deux pôles peuvent être amenés jusqu'à se toucher par un de leurs côtés, si l'on rapproche suffisamment les deux branches.

Du reste, la démonstration que j'ai à fournir n'exige

(3) *Annalen der Physik und Chemie*, XCIV, p. 576 et C II, p. 225.

Digitized by Google

pas qu'il y ait contact immédiat; mais comme, d'un autre côté, on peut indéfiniment écarter les branches, il est aisé de se placer dans des conditions extrêmes et de décider, du premier coup, la question. C'est aussi de cette manière que j'ai procédé en me servant d'un courant de la constance duquel je m'étais assuré.

Les éléments galvaniques employés étaient de grandes dimensions ; les branches de l'électro-aimant avaient 15 millimètres de diamètre et 9 centimètres de longueur; les bobines contenaient chacune 47 mètres de fil de 1 millimètre de diamètre; enfin, l'armature était un cylindre de fer de 15 millimètres d'épaisseur et de 30 centimètres de longueur.

Voici d'abord les résultats obtenus dans des conditions extrêmes :

DISTANCE ENTRE LES POLES.	ATTRACTION	
	Courant *a*.	Courant *b*.
Epaisseur de 8 feuilles de papier (1/2 millimètre)	14-15 kil.	52 kil.
120 millimètres	18	65

On le voit, la différence est notable ; maintenant, il s'agit de savoir si ces nombres expriment des limites ou si les résultats varient avec l'écartement des pôles. Il me fut aisé de reconnaître qu'avec les intensités en jeu la force portante ne grandissait plus sensiblement, à partir

Digitized by Google

de 12 centimètres d'écartement ; que la distance favorable à l'accroissement augmentait avec la puissance magnétique développée, et qu'elle diminuait quand le courant diminuait lui-même ; c'est ce qu'on peut voir dans le tableau suivant, qui contient quelques-uns des résultats moyens observés à diverses intensités.

DISTANCE ENTRE LES PÔLES.	ATTRACTION.			
	Courant *a*	Courant *b*	Courant *c*	Courant *d*
Epaisseur d'une feuille de papier.....	5 kil.	10 kil.	17 kil.	45 kil.
0m,0005.....	8	14-15	22	52
0m,025	10	16	23	55
0m,045	10	18	25-26	58-59
0m,120	9	18	27	65
0m,220	7	18	27	66
0m,280	5	15	27	66

Ces résultats établissent une analogie de plus entre les électro-aimants bifurqués et les électro-aimants rectilignes examinés plus haut ; on voit que les nombres exprimant la puissance d'aimantation s'accroissent d'abord régulièrement comme chez ces derniers ; qu'ils décroissent ensuite après avoir passé par un état stationnaire, variable avec l'intensité du courant ou du magnétisme développé, et dont l'amplitude augmente avec ces intensités.

Le magnétisme rémanant des électro-aimants employés se manifeste dans le même rapport après l'interruption du courant ; l'armature tombe spontanément quand les

Digitized by Google

pôles sont à faible distance l'un de l'autre; elle reste suspendue quand cette distance a été augmentée; enfin, elle tombe de nouveau quand l'écartement à atteint un certain point de la progression décroissante :

Des résultats analogues ont été obtenus avec un électro aimant circulaire construit *ad hoc*. Nous les rapporterons au chapitre XV.

Ces faits ajoutés aux précédents expliquent les résultats obtenus par M. Dub, ainsi que les conclusions qu'il en tire. Ce physicien n'ayant pas assez étendu la limite de l'écartement des branches de ses électro-aimants, limite variant de 2 1/2 pouces à 5 1/4, a obtenu des poids portés à peu près invariables, analogues à ceux que j'ai moi-même obtenus dans les mêmes circonstances.

Au nombre des diverses conditions auxquelles il faut avoir égard dans la construction des électro-aimants rectilignes, bifurqués ou circulaires, il faut donc placer le soin de donner aux pôles un écartement approprié à l'intensité magnétique que l'on se propose de développer; la distance moyenne à adopter pour les électro-aimants bifurqués de la dimension ordinaire peut varier entre 6 et 12 centimètres, ce qui représente l'écartement généralement usité. Il faut absolument rejeter des dispositions du genre de celle dont on trouve un exemple dans l'ouvrage intitulé : *Le télégraphe électro-magnétique américain*, disposition dans laquelle on s'efforce de rapprocher les pôles de manière à les amener presque au contact (fig. 28).

Digitized by Google

Construction des électro-aimants bifurqués.

§ 64. L'électro-aimant bifurqué ordinaire ou fer à cheval est exécuté sous bien des formes et avec bien des modifications. La forme la plus usitée est représentée par la fig. 17, elle consiste en deux cylindres vissés ou rivés sur une lame de fer constituant la culasse. La forme fig. 16 est préférable par les motifs que voici :

1° Parce que, dans une masse de fer bien homogène, le fluide magnétique se propage avec moins de perte que dans un noyau composé de pièces rapportées (§ 41).

2° Parce qu'il est utile de bien étrangler les pôles en *m* et en *m'*, sinon ils conservent de la polarité, ce qui nuira à la puissance attractive.

Or, les plaques de fer sur lesquelles on rapporte ordinairement les noyaux sont loin d'être suffisantes ; on peut s'en apercevoir, pour peu qu'on emploie un courant énergique ; on n'a pour cela qu'à rapprocher de la culasse une pièce de fer quelconque pour la voir attirée avec plus ou moins de force.

Nous disons que la forme la plus convenable est celle fig. 16, par le motif que nous venons de faire connaître sous le n° 1, et ensuite parce que le diamètre à donner à la culasse n'est pas indifférent.

Avec une culasse trop forte on a des pertes, parce qu'on insère trop de fer dans le circuit magnétique (§§ 17 et 63.)

Digitized by Google

Nous avons vu, au n° 2, l'inconvénient d'une culasse trop faible ou insuffisante.

La culasse est trop faible ou insuffisante quand sa masse et son diamètre sont moindres que la masse et le diamètre des branches polaires.

Elle est trop forte, quand sa masse et son diamètre dépassent au moins d'un quinzième la masse et le diamètre de ces branches.

La culasse naturelle ou normale est donc tout simplement celle qui forme le prolongement des branches polaires, et cela sans séparation ni solution de continuité. Elle peut être un peu plus forte que les branches, mais elle ne doit pas être plus faible.

§ 65. Au nombre des formes diverses qui ont été données à l'électro-aimant bifurqué, il faut distinguer celle (fig. 29) que M. Joule a fait connaître. C'est un bifurqué à branches très-larges, formé d'un cylindre long de 8 pouces et d'un diamètre extérieur de 3 3/4 pouces. Il est creusé à l'intérieur dans le sens de sa longueur; cette ouverture intérieure offre 1 1/4 pouces de diamètre. On a ainsi deux branches fort élargies autour desquelles, dans le sens de la génératrice, on a enroulé du fil de cuivre de 1/11 de pouce de diamètre. Ce fil est convenablement isolé et comprend une longueur de 23 pieds. La pièce *b*, constitue l'armature.

Telles sont les proportions données par M. Joule lui-même (1).

(1) *Phylosophical magazine*, décembre 1851, p. 430.

Digitized by Google

Le fer de cet électro-aimant pèse 15 livres (7 k. 50). L'auteur est parvenu à lui faire porter jusqu'à 1015 kilogrammes. En ayant égard aux conditions indiquées dans le § 18, c'est-à-dire, en rendant convexes les bords de l'armature et lui donnant une masse et une forme égales à celles de l'électro-aimant, on arrivera, certainement, à augmenter, de beaucoup, la force portante.

§ 66. Les aimants employés dans les appareils fig. 6 et 7 sont du même système.

Nous n'insisterons pas sur les électro-aimants qu'on a faits avec des faisceaux de fil de fer, ni sur ceux à limaille de fer que M. de Haldat a confectionnés, il est vrai, dans un but spécial (1).

On peut, tout aussi bien, obtenir une espèce de barreau aimanté, en enfilant des disques en fer doux sur une tringle en fer et faisant plonger le tout dans une bobine. Chaque disque constituera alors un aimant regardant le précédent et le suivant par des pôles de noms contraires; et l'ensemble formera un barreau unique, ayant les pôles aux extrémités. Seulement, en raison des nombreuses solutions de continuité, un pareil barreau donnera moins de force qu'un barreau massif de même diamètre.

(1) *Mémoire de l'Académie de Stanislas*, 1839.

Digitized by Google

Note sur les fantômes des électro-aimants bifurqués (pl. IV).

La fig. 3 a été prise sur les deux pôles antinomes et isodynamiques d'un bifurqué cylindrique. L'antinomie des pôles est indiquée par des courbes concentriques assez semblables à celles tracées par les électro-aimants rectilignes (fig. 1).

Leur isodynamie est établie par la parfaite similitude du fantôme de chaque pôle (§ 32 *bis*).

Nous en dirons autant de la fig. 8, obtenue avec le même bifurqué, à cela près que les deux pôles étaient de même nom (§ 60), ce que l'on reconnaît, au surplus, par les courbes divergentes qui se produisent à la rencontre des rayons de chaque pôle.

L'hétérodynamie des pôles est fidèlement indiquée par la figure fantasmatique. On en trouvera des exemples plus loin.

Au reste, il n'est pas nécessaire que les deux pôles soient reliés entre eux par une culasse pour donner lieu aux fantômes en question. La fig. 3 peut être tracée aussi bien que la fig. 8, par deux électro-aimants rectilignes indépendants, ou plus généralement, par deux pôles quelconques.

Digitized by Google

CHAPITRE V.

TROISIÈME FAMILLE.

Electro-aimants trifurqués (pl. I et IV).

Genres : 1° monocnème.
2° dicnème.
3° osacnème.

Synonymes : angl. : *trifurcated electro-magnets;* allem. *: dreischenklige Elektromagnete.*

§ 67. Ces électro-aimants sont représentés par les fig. 31 à 39 ; ils ont *3 branches,* d'où le nom de *trifurqués* que je propose de leur donner afin de les distinguer des électro-aimants à *2 branches* que j'ai appelés *bifurqués* et de ceux dotés d'un plus ou moins grand nombre de branches polaires qui pourront être construits un jour et qui, par les raisons que nous ferons connaître au chapitre suivant, formeront la famille des électro-aimants multifurqués.

J'ai été conduit aux trifurqués pendant que je faisais des recherches sur l'allongement des électro-aimants rectilignes : tandis que l'un des pôles de ces électro-aimants, le pôle chaussé A (fig. 9), est très-puissant, l'autre, qui est saillant hors de la bobine, s'affaiblit à mesure

Digitized by Google

qu'on l'allonge. Ainsi qu'on l'a vu au § 40, ce pôle est perdu pour l'attraction puisqu'il se trouve à l'extrémité opposée à celle qui doit agir.

Recourber le barreau de façon à amener le pôle B en face du pôle A, c'était tomber dans l'électro-aimant boiteux et répartir l'attraction fort inégalement ; et cependant, il était évident que pour tirer de ce noyau monocnème le meilleur parti possible, il y avait quelque chose à faire. Le raisonnement suivant m'a conduit au but (1).

« Supposons que l'on pratique en B (fig. 9) et dans le sens de l'axe, une entaille suffisamment profonde et qu'on rabatte de chaque côté du pôle et parallèlement à lui, l'une des fractions de branche ainsi obtenues, on donnera, évidemment, lieu à un appareil (fig. 31) composé de 3 branches dont une seule, M du milieu, sera entourée de fil ; les deux branches extérieures seront à nu.

Cependant, rien n'a été changé dans la bobine ; avec un courant donné, on reconnaît que le pôle qu'elle dessert n'a ni perdu ni gagné, car, sa force portante est égale à celle qu'il avait avant la transformation. Il en est ainsi tant qu'on n'opère que sur le pôle central A, mais vient-on à appliquer l'armature à la fois sur les trois faces polaires, on observe un effet attractif pour le moins aussi considérable que si le fil employé avait été réparti, en sens contraire, sur deux branches. De plus,

(1) L'Institut, 8 décembre 1852 ; et *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série T. XXXVII, p. 399. — *American Journal of science and arts*, T. XV et T. XVI.

Digitized by Google

le pôle central étant placé symétriquement, la force portante s'exercera symétriquement; tel ne serait pas le cas si l'armature n'agissait que sur deux pôles soit sur B et A, soit sur A et B'.

§ 68. Ces faits ont leur côté pratique : ils permettent de construire des électro-aimants dont la partie vulnérable, la bobine, est complétement à l'abri des accidents. C'est ce que j'ai prouvé dès 1831 au moyen de l'électro-aimant (fig. 32 et 33) qui se compose de trois plaques de fer N, M, N', soudées ou rivées perpendiculairement sur une quatrième, *c*, servant de culasse; le fil est enroulé autour de la branche centrale M. Voici les dimensions de cet électro-aimant, elles n'ont rien d'absolu :

hauteur	0,08
longueur	0,10
épaisseur de *n*	0,011
— *m*	0,023
longueur de *m*	0,067
— *n*	0,098

La branche M est, comme on voit, plus épaisse que les deux autres N, N', et cela doit être; cette branche étant, pour le moment, l'unique réservoir du magnétisme; mais, elle est, en même temps, moins large. Cette disposition permet de loger le fil de manière à ce que la bobine ne déborde pas. En appliquant alors des plaques de fer *l l* sur les deux côtés ouverts, couvrant de lames de cuivre la bobine du côté des pôles de façon

Digitized by Google

à fermer le tout, on a une sorte de boite en fer, aussi solide que possible et dans laquelle la bobine est parfaitement protégée.

Le rayonnement latéral des hélices est complètement supprimé par cette disposition, et si auparavant on a pu aimanter des pièces de fer en les plaçant à côté de la bobine, et même à une certaine distance, on reconnaîtra facilement que cette aimantation n'est plus possible du moment que l'on a interposé le prolongement du noyau, c'est-à-dire, les plaques *n* ou *l*.

C'est au reste ce dont témoigne l'aiguille aimantée, ainsi que le fantôme. Ce dernier, fig. 5, pl. IV, fait voir clairement que les parties N et N' de l'électro-aimant jouissent d'une polarité contraire à la partie centrale M, et que de plus, elles interceptent, en totalité, les rayons magnétiques.

Cette enveloppe en fer, qui communique avec le noyau M par l'intermédiaire de la culasse, n'est donc pas une simple enveloppe protectrice de la bobine. Avec cette fonction assez utile déjà, elle en cumule une autre non moins importante, c'est celle de permettre l'intervention du pôle contraire et par suite, de comporter une augmentation de force assez considérable, sans exiger une augmentation de courant.

Mais on peut fermer l'appareil plus hermétiquement encore, en se fondant sur le fait signalé au § 19; c'est d'appliquer sur la face polaire une lame de tôle mince. La force portante en sera peu affaiblie; cependant je ne pourrais pas donner de chiffres.

Digitized by Google

§ 69. De ce qui précède, il résulte que les pôles N, N' sont de noms contraires à M, absolument comme dans un aimant à point conséquent; de même aussi sont-ils plus faibles que M; cependant, ces pôles si faibles se renforcent lorsqu'on arme le pôle central conformément aux faits constatés au § 54.

§ 70. Le tableau ci-après donnera une idée de l'attraction relative fournie de ce trifurqué, suivant qu'on fait intervenir une, deux ou trois branches polaires. L'armature employée offrait, sensiblement, les dimensions de la branche centrale M, fig. 32 et 33; elle pesait 1030 grammes. Par sa forme rectangulaire elle se prêtait facilement à ces divers essais; ainsi on la plaçait de champ par le petit côté ou par le côté allongé, dans le sens axial ou dans le sens équatorial suivant qu'on voulait opérer sur un, sur deux ou sur les trois pôles; enfin, en la posant à plat, par sa grande surface, on pouvait, presque entièrement, intercepter le rayonnement magnétique et on obtenait ainsi les poids portés consignés dans la quatrième colonne. (Note E.)

COURANT.	PÔLE CENTRAL.	DEUX PÔLES.	ARMATURE placée de champ, sur la grande tranche.	ARMATURE appliquée à plat.
Tang. 49° 55'	3 kil.	80 kil.	130 kil.	180 kil.
Tang. 46 10	2	68	120	142
Tang. 14 45	»	6	15	»
Tang. 11 30	»	3	4	»

Digitized by Google

Avec une armature différente, ces rapports ont changé; ainsi, une règle en fer, longue de $0^m,38$, large de $0^m,02$ et épaisse de $0^m,004$ a fourni avec les trois pôles réunis, une force portante triple de celle du pôle central seul.

§ 71. Cet électro-aimant permet de réaliser un mouvement rectiligne que j'ai également obtenu, quoiqu'à un degré moindre, avec les électro-aimants ordinaires. En plaçant un cylindre de fer massif sur la face polaire, à la naissance des branches latérales et perpendiculairement à leur axe, ce cylindre roule, avec force, vers le centre de l'aimant et y retourne toutes les fois qu'on l'a remis dans sa position initiale. Il résulte de là un mouvement de va et vient dont on peut augmenter l'amplitude et qui a lieu quelle que soit la position de l'aimant ou l'inclinaison de ses pôles.

Occasionné par la tendance de l'armature à prendre une position symétrique par rapport aux surfaces polaires, ce mouvement m'a paru, dès l'origine (1), digne d'attention parce qu'il me semblait qu'à son aide, on pourrait faire des machines électro-magnétiques dans lesquelles les aimants agissent au contact sans produire de choc. On verra au § 166, la description d'une machine motrice basée sur ce principe et réalisée avec des électro-aimants circulaires.

§ 72. C'est un trifurqué monocnème qui a servi d'âme

(1) Communiqué à la Société philomathique au mois de novembre 1852.

Digitized by Google

à un moteur, exposé en 1855, par M. Roux qui était attaché au chemin de fer de Lyon à l'époque, 1852, où nous fîmes nos essais sur l'adhérence magnétique (chap. XX). C'est à cette occasion qu'il s'est familiarisé avec les travaux de ce genre. « L'objet de son exposition est, dit M. Becquerel, une machine oscillante dans laquelle des plaques de fer s'approchent et s'éloignent successivement, d'électro-aimants fixes et verticaux, mais disposés de manière à utiliser l'action magnétique du fil conducteur sur une armature extérieure ainsi que cela se pratique dans les électro-aimants trifurqués. Les plaques de fer ont un mouvement de va et vient qui se transmet à un arbre et donne un mouvement de rotation continu. »

De tous les électro-moteurs de l'Exposition de 1855, c'est cette machine qui, d'après les déterminations de M. E. Becquerel, a donné le meilleur rendement ; elle n'a, en effet, consommé que pour 1 fr. 50 de zinc par heure et par force de cheval, chiffre encore fort élevé sans doute, bien qu'il soit le plus modéré de tous ceux qui ont été fournis par les quatre machines exposées (2).

§ 73. J'ai exécuté l'électro-aimant trifurqué avec une légère variante, dictée par le but auquel je le destinais. Je voulais en faire un frein pour chemin de fer. Ce frein devait agir par frottement sur le rail qu'il empoignait à

(2) *Traité d'électricité et de magnétisme*, par MM. Becquerel, T. III, p. 385 et 387.

Digitized by Google

un moment donné, c'est-à-dire, lorsqu'on faisait passer le courant. Il devait être, nécessairement, d'une puissance notable. Le maximum de force portante que j'ai pu obtenir de lui était 5000 kilogr.; au contact et avec un courant de 6 grands éléments Bunsen, il donnait facilement 4000 kilog. de force portante. Fig. 40, pl. I, en représente le noyau qui était tout d'une pièce, sauf toutefois les deux plaques latérales *l l* (§ 68) destinées à emprisonner la bobine tout en contribuant à la force attractive.

Ce trifurqué devant subir un frottement considérable, il était à prévoir qu'il s'userait promptement. Fixé contre le rail par une force verticale de 4000 kil. en moyenne, poussé en avant par une pression horizontale puissante, il devait rapidement se creuser à sa surface polaire et se réduire en limaille en ce point. Le remplacer chaque fois par un autre électro-aimant, eût été, certes, peu praticable: aussi, pour éviter un remaniement fréquent et peut-être quotidien, j'ai pris le parti de munir chacune des surfaces polaires d'une sorte de semelle, *s*, en fer de forge, s'engageant latéralement dans les branches de l'aimant d'après la manière indiquée par la figure et dont on pouvait, dès lors, changer aussi aisément que l'on change de souliers.

Je ne fais que mentionner cette tentative, à laquelle je n'ai pas donné suite à cause de la forte usure des rails, que ce frottement de glissement devait occasionner. Je crois, sauf erreur, que c'est la première fois qu'on avait

Digitized by Google

proposé l'emploi de l'électricité pour arrêter les convois de chemins de fer. Ma priorité remonte au 9 août 1850, je la partage avec M. Amberger (chap. XX).

§ 74. De l'électro-aimant prismatique à base carrée (fig. 32 et 33), à l'électro-aimant tubulaire (fig. 34 et 35) il n'y a qu'un pas, qui a été franchi par M. Fabre de Lagrange. Le cylindre pouvant être considéré comme un prisme d'un nombre infini de côtés, M. Fabre a remplacé le tube prismatique formant les pôles extérieurs, par un tube cylindrique et substitué, de plus, un noyau cylindrique au noyau carré ou rectangulaire des trifurqués que nous venons de citer. L'électro-aimant qui sortit de ces modifications avait plus de force à distance et au contact; il dépassait, en puissance, le fer à cheval ordinaire. M. Fabre a fait avec lui une machine oscillante qui a figuré à l'Exposition universelle de 1855.

Cet électro-aimant a été, je puis le dire, imaginé sous mes yeux, en 1852, époque à laquelle M. Fabre travaillait dans mon laboratoire de la rue Notre-Dame-des-Champs. Je puis donc garantir la bonne foi de ce physicien qui depuis, a été accusé de plagiat.

Vérification faite, il s'est trouvé, en effet, que le tubulaire avait été publié quelques années auparavant par M. Romershausen et employé bientôt après par M. Hipp et quelques autres mécaniciens. Il n'est réellement connu que par la machine électro-magnétique que M. Fabre a exposée en 1855; cette machine a été vue et examinée par tous les amateurs sans qu'aucune réclamation de priorité

Digitized by Google

ait été faite ; son auteur a même reçu une médaille à cette occasion, chose qui probablement n'aurait pas eu lieu si l'électro-aimant n'avait pas été nouveau aux yeux de M. Fabre comme à ceux du public.

Ce qui est arrivé à M. Fabre est de l'histoire quotidienne ; même chose est arrivée à M. Dub et à d'autres (1). Mieux que cela, la priorité de cette forme particulière n'appartient pas même à M. Romershausen. Le premier qui en ait parlé, à notre connaissance du moins, est M. Guillemin dans l'avant-dernier alinéa d'une note insérée aux *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, du 9 mars 1846, t. XXII, p. 433.

Revenons aux recherches de M. Dub, qui déclare avoir été conduit à cette combinaison à la suite de tentatives pour obtenir un moteur économique (2). Il lui reconnait des propriétés qui rappellent, de tous points, celles que nous avons données comme caractéristiques de l'électro-aimant trifurqué plusieurs années auparavant dans ce mémoire même (3) qui a si fort intéressé M. Dub, en ce qu'il a mis fin aux contestations dont était l'objet son travail sur l'allongement des barreaux aimantés (4). Ainsi « le pôle extérieur de l'électro-aimant tubulaire n'est

(1) Cet aimant tubulaire vient d'être réinventé par M. Roloff, à Neu-Strélitz (1859).

(2) *Annalen der Physik und Chemie*, T. XCIV, p. 574 (1855).

(3) L'Institut, 8 décembre 1852 et *Annales de Chimie et de Physique*, T. XXXVII, p. 399.

(4) *Annalen der Physik und Chemie*, T. XC, p. 452 (1855).

Digitized by Google

que faiblement polarisé, tout le fluide parait localisé sur la branche centrale qui est entourée d'une bobine, mais quand on place une armature sur les faces polaires on remarque, dit-il, que les poids portés par les pôles sont, au moins, triples de ceux que le pôle central peut soutenir seul » etc., etc. Nous renvoyons pour le reste au § 70.

D'accord avec moi sur les faits, le physicien allemand diffère sur la théorie ; pour lui, cet électro-aimant est un fer à cheval ordinaire dont un des pôles enveloppe l'autre. Il perd de vue que le fer à cheval ordinaire est muni de deux bobines de sens contraire et que ses deux pôles, de noms opposés, jouissent d'une intensité égale (§ 50).

Dans ce même travail (1), M. Dub invente l'électro-aimant *trifurqué* (fig. 31 et 32), qu'il compare sagement à une fourche à trois branches ; puis il refait avec un bifurqué à une seule bobine, les expériences que nous avons nous-même faites et publiées deux années auparavant, dans le n° de l'*Institut* qui vient d'être cité.

Ces expériences faites comparativement avec d'autres électro-aimants sont instructives pour nous, non parce qu'elles confirment tout ce que nous avons avancé sur ces matières, mais parce que, faites avec l'exactitude qui caractérise les travaux de M. Dub, elles nous fournissent des résultats dignes de confiance.

Elles conduisent, en effet, aux conclusions suivantes :

(1) *Loc. citat.*, p. 577.

Digitized by Google

« Toutes circonstances étant les mêmes, l'électro-aimant tubulaire est plus puissant que tout autre électro-aimant.

» L'attraction s'y développe proportionnellement au diamètre du barreau de fer, de plus, le rapport entre l'attraction exercée par le pôle central et celle produite par les deux pôles, grandit dans la même proportion.

L'auteur reconnaît que « la puissance attractive augmente d'autant plus que l'hélice magnétisante se trouve plus rapprochée du noyau de fer, et opère ensuite avec des trifurqués tubulaires longs d'un mètre (3 pieds) et dont les noyaux ont 1, 2, 4 et 6 pouces de diamètre, il constate que la loi des barreaux massifs (§ 14), se maintient encore à cette échelle et que le magnétisme développé dans ces barreaux de même longueur est proportionnel aux racines carrées de leurs diamètres, ce qui permet de conclure que :

» Les lois qui régissent les électro-aimants de grandes dimensions sont les mêmes que celles qui gouvernent ceux de force moyenne. »

Plus loin, M. Dub annonce que les électro-aimants tubulaires sont influencés par l'allongement dans le même sens que les rectilignes (§ 40), cette influence ayant une limite à partir de laquelle la puissance attractive va en décroissant. Je me rappelle avoir vu M. Fabre constater également ce fait, en 1853, avec des électro-aimants tubulaires qui avaient plus de deux mètres de longueur.

Si M. Dub avait varié l'intensité des courants, il aurait

Digitized by Google

certainement remarqué que le moment du décroissement était avancé par des courants faibles et retardé par des courants plus énergiques ou par une intensité magnétique plus forte. On a donc deux moyens de reculer cette limite dans un trifurqué de hauteur donnée : on peut augmenter l'épaisseur du noyau, ou, si elle est suffisante, augmenter l'intensité du courant.

§ 75. Une partie de ces expériences avait été tentée dans le but de connaître la puissance avec laquelle un noyau tubulaire est attiré par une hélice.

Voici quelques résultats d'expériences ; ils ont été obtenus avec 3 trifurqués tubulaires, longs de 3 pieds et dont la branche centrale avait un diamètre variable entre 4 pouces [1], 6 [2] et 8 pouces [3]. Le diamètre de 6 pouces fut obtenu en rangeant autour du noyau de [1], des barreaux carrés en fer de un ou de deux pouces d'épaisseur. Une seule hélice et un seul tube furent employés. Celui-ci avait 21 pouces de diamètre intérieur et 3 pieds de longueur ; il était façonné avec du fer de forge de $\frac{1}{2}$ pouce d'épaisseur.

L'hélice composée de 900 tours de spire était actionné par une batterie de Grove de 24 éléments.

Avec cette intensité, les noyaux avec les tubes, furent attirés dans les rapports suivants.

[1]	fut attiré avec une puissance	égale à	65 livres
[2]	—	—	98 liv.
[3]	—	—	125 liv.

Il faut remarquer que les nombres exprimant la force

Digitized by Google

aspirante de [1] et de [2], eussent été plus grands si la bobine avait été plus rapprochée du noyau.

§ 76. Jusqu'à présent, il n'a été question que d'électro-aimants trifurqués ayant un pôle entre deux autres qui sont hétéronomes avec lui, tout comme les aimants à points conséquents. Il serait cependant possible de sortir de cette combinaison et de réaliser, avec une seule bobine, un trifurqué dénué de points conséquents et que nous appelons *épallèle*, ou à pôles sériés (1), d'après ce qui a été dit au § 45. Ce serait d'appliquer la bobine, non plus sur la branche centrale, mais bien sur une des branches extérieures, N, par exemple. Le pôle central sera alors, tout naturellement, placé entre deux pôles hétéronomes entre eux et on arrive à ce résultat que, en reliant deux de ces pôles avec une armature, celle-ci n'est attirée que par M N, par exemple, et n'éprouve presque pas d'adhésion sur les pôles M N', qui sont en dehors de la bobine.

§ 77. *Dicnème.* — Ces faits peuvent être rendus bien

(1) Cet épallélisme, il est vrai, n'est pas absolument identique à celui du § 45, car les hélices appelées à le produire sont de sens opposé à celles qui donnent lieu aux pôles épallèles des électro-aimants rectilignes à points conséquents. Mais comme, en dernière analyse, ces électro-aimants se ressemblent sous le rapport de la polarité qui est tout dans cette question, nous avons cru pouvoir, sans inconvénient, consacrer cette manière d'être en la confondant sous le même nom.

Nous en dirons autant de la disposition *énallèle* ou à pôles alternatifs.

Digitized by Google

plus saillants par l'emploi de deux hélices, lesquelles, suivant leur sens ou la direction du courant, peuvent évidemment occasionner soit deux pôles de noms contraires en N et en N' ou en M et en N' ou enfin en M et en N. Dans le premier cas, le point neutre de l'aimant sera en M, dans le second il sera entre M et N', dans le troisième cas, au contraire, on le trouvera situé entre M et N.

Les choses se passeraient autrement si les deux hélices étaient isologues ; il est clair qu'alors, l'armature ne serait guère attirée lorsqu'elle agirait à la fois sur les deux branches portant ces hélices, tandis qu'elle le serait à coup sûr, toutes les fois que l'on ferait intervenir, conjointement avec elles, la branche dénuée de bobine, parce que cette branche possède le fluide contraire des deux autres.

Le genre *dicnème* admet donc également une espèce *énallèle* et une *épallèle*.

§ 77 *bis*. La fig. 39 dont il sera question à la fin de ce chapitre peut être considérée comme un trifurqué dicnème *double*. Pour l'obtenir on oppose, dos à dos, (*a*, *b*), deux noyaux de trifurqué et on enroule le fil autour de la culasse. La polarité des branches est naturellement déterminée par le sens des hélices ; si celles-ci se font suite l'une à l'autre (disposition épallèle), il y aura un point neutre en M et des pôles opposés sur les branches N et N'. Si au contraire, les hélices sont antilogues (disposition énallèle), M sera un point conséquent.

Le premier arrangement convient mieux que le second.

Digitized by Google

§ 78. *Osacnème.* — En appliquant une hélice à chacune des branches, on peut reproduire avec plus de netteté encore les faits qui viennent d'être signalés ; car, il sera facile de développer des pôles isonomes ou des pôles antinomes et de grouper ces pôles de la manière dont ils le sont dans les combinaisons dont il vient d'être parlé.

§ 79. Jusqu'ici nous n'avons raisonné que sur des hélices de même intensité. Le cas peut cependant se présenter où les hélices auraient des intensités différentes, ce qui amènerait du changement dans la force portante de l'électro-aimant, nous en appelons à ce qui a été dit sur ce point au chapitre des électro-aimants bifurqués.

Dans les trifurqués monocnèmes et dicnèmes, les pôles seront hétérodynamiques quoi qu'on fasse, l'isodynamie n'est possible que dans le genre osacnème, et alors il y aura toujours deux pôles isonomes pour un de nom contraire, par conséquent, le magnétisme de l'un des pôles sera double de celui de l'autre.

Ces préoccupations ne concernent en rien les tubulaires qui sont les plus simples de la famille. Bien que la coupe suivant l'axe (fig. 35) fasse voir clairement leur connexion avec les électro-aimants trifurqués, il n'en est pas moins vrai que le genre osacnème y est irréalisable. Tout ce qu'on pourrait faire, ce serait d'envelopper le tube dans une hélice antilogue à la première. Ce seraient deux hélices concentriques d'un effet inférieur à celui

Digitized by Google

que l'on obtient avec le tubulaire bien moins compliqué dont nous venons de parler et qui est seul usité.

§ 80. De même que les bifurqués, les trifurqués peuvent être associés, dos à dos, et donner ainsi lieu à des trifurqués doubles, dont les fig. 38 et 39 donnent une idée. Fig. 38 est obtenue par l'apposition, dos à dos, de deux tubulaires, c'est, si l'on veut un électro-aimant circulaire unidrome (fig. 1, pl. II), enchassé dans un tube; le disque est représenté par la culasse *c*.

Dans fig. 39 dont il a été question au § 77 *bis*, on juxtapose par la culasse, deux trifurqués rectangulaires en se servant de celle-ci comme noyau (*a b*); M est alors un point neutre et l'appareil peut être placé à côté des *bifurqués monocnèmes* à pôles de même puissance (fig. 19).

Ces combinaisons peuvent être utiles dans un cas donné, pour le moment, elles n'ont qu'un intérêt théorique. Nous en citons des exemples surtout parce qu'ils nous conduisent aux électro-aimants circulaires.

§ 81. Le trifurqué de la fig. 32-33 peut se dériver aussi de deux électro-aimants bifurqués monocnèmes, associés seulement par l'une de leurs branches (fig. 31). On peut ainsi accoupler plusieurs barreaux recourbés et obtenir alors une série de branches s'élevant régulièrement autour d'un barreau plus gros, placé au centre; c'est sur cette branche qu'on monte la bobine (fig. 37). C'est un trifurqué multiple offrant cette particularité qu'à mesure qu'il se complique, il se rapproche de plus en

Digitized by Google

plus du trifurqué le plus simple : le *tubulaire*. Les fig. 34, 35, 36 et 37 rendent compte de cette transformation. En rapprochant la fig. 37 de la fig. 36 et de son fantôme (fig. 7, pl. IV), on voit qu'en dernière analyse, la fig. 36 peut être considérée comme un tubulaire dont le tube a été régulièrement entaillé, de même que fig. 37 peut passer pour un trifurqué obtenu par l'association de 6 bifurqués monocnèmes.

Toute la différence entre ces deux figures consiste en ce que dans l'une (fig. 36), la culasse est intacte, tandis que dans fig. 37 elle offre des angles rentrants.

Note sur les fantômes des électro-aimants trifurqués (pl. IV).

La fig. 4 représente le fantôme du trifurqué décrit au § 68; c'est une espèce d'aimant à point conséquent qu'on peut rapprocher de fig. 2 (même planche). Les pôles y sont hétérodynamiques et c'est ce que le fantôme fait très-bien voir, car d'abord, le pôle le plus puissant, pôle central, est bien plus entouré de limaille que ne le sont les pôles latéraux. Ensuite, cette agglomération de limaille est suivie d'un vide qui manque absolument en N et en N'.

La fig. 5 représente le fantôme de ce même aimant dont on a relié les branches extérieures par des feuilles de tôle épaisse; elle fait voir que cette enveloppe carrée ou rectangulaire jouit d'une polarité contraire à la branche centrale, ainsi qu'il est dit au § 68; de plus, elle

Digitized by Google

ménage la transition entre les fig. 4 et 6, image fantasmatique de l'électro-aimant tubulaire (§ 74), entre cette même figure et celle du n° 7 dont il a été question au § 81.

Les images 9 et 10, ont été obtenues avec deux petits trifurqués monocnèmes de même forme, reliés entre eux par une lame de fer. En donnant aux deux hélices une polarité contraire, on arrive à la fig. 9, tandis qu'avec des hélices de même sens on voit se produire la fig. 10.

Ces deux fantômes sont entre eux comme ceux des fig. 3 et 8, où les courbes convergentes dans un cas deviennent divergentes dans l'autre.

L'examen de ces figures ainsi que de celles des n^os^ 4, 5, 6, 7 et 11 de la même planche IV, nous ramène à ce que nous avons dit au § 68, où nous avons vu les branches latérales supprimer le rayonnement à mesure qu'elles venaient s'ajouter. Avec la branche centrale seule convenablement aimantée, il se produit, comme on sait, un fantôme analogue à la fig. 11 ; avec cette branche flanquée des deux voisines, le fantôme n'offre plus que deux gerbes de rayons (fig. 4) ; ces gerbes disparaissent totalement dans la fig. 5 où tous les rayons sont interceptés.

La fig. 6, fantôme de l'électro-aimant tubulaire, conduit à des observations analogues. La fig. 7 obtenue avec l'aimant (fig. 36) de la pl. I (§ 81), conduit à ce résultat véritablement intéressant, savoir que, pour intercepter la radiation magnétique, comme on l'a fait pour les fig. 5 et 6, il est inutile que le pôle enveloppant soit continu, comme il l'est dans ces électro-aimants.

Digitized by Google

CHAPITRE VI.

QUATRIÈME FAMILLE.

Multifurqués (pl. I et V).

Genres : 1° monocnème
2° dicnème
3° osacnème.

§ 82. Nous avons déjà vu que ce genre comprend un nombre infini d'électro-aimants dont les fig. 41, 43 et 44 donnent une idée. Peu connus encore et rarement usités, ils ne nous arrêteront pas longtemps. Cependant nous marquons leur place ici sous un nom général, qu'on pourra aisément particulariser quand il y aura lieu.

Les électro-aimants quadri, quinti.... deci.... viginti furqués sont donc compris dans la catégorie des multi-furqués, de *multus*, beaucoup.

§ 83. Cette famille est, au reste, de celles dont l'automonie est la plus contestable ; c'est ainsi que la figure 41 peut être envisagée comme un groupement composé de deux bifurqués doubles ; ou bien on peut encore y voir un bifurqué double associé à un trifurqué également double. La fig. 44 enfin, peut être considérée comme le résultat de l'association de deux trifurqués.

Digitized by Google

A ce titre, les électro-aimants multifurqués sont depuis longtemps usités. M. Froment en employe dans ses machines motrices et Adrien Chenot dans son électro-trieuse des minerais. Les aimants appliqués dans cette circonstance, se composent de deux bifurqués à pôles contraires, associés de manière à ce que les quatre branches se trouvent dans le même plan et que les pôles soient énallèles, c'est-à-dire alternatifs. C'est comme si, sur une tringle de fer, on vissait, énallèlement, quatre électro-aimants rectilignes.

Les bifurqués doubles, fig. 25, 26 et 27 rentrent donc aussi dans cette catégorie.

§ 84. Bien que les multifurqués puissent avoir autant d'hélices que de branches, il ne suffira pas d'une hélice de plus ou de moins pour faire un genre; sous ce rapport, il n'y en a que trois à considérer :

1° celui à une hélice (monocnème) ;

2° celui à deux hélices (dicnème) ;

3° celui qui a autant d'hélices que de branches (osacnème).

§ 85. *Monocnèmes.* — De même qu'il y a des bifurqués et des trifurqués monocnèmes, de même aussi, y a-t-il des multifurqués de ce genre; de ce nombre sont les fig. 43 et 44. Du moment qu'il n'y a qu'une hélice, il convient de la placer symétriquement, c'est-à-dire, au milieu de l'électro-aimant. La force attractive de chacun des pôles dénudés ira alors en décroissant, d'une manière assez reconnaissable au fantôme et qui est encore

Digitized by Google

mieux exprimée par la fig. 43, où les dimensions des signes + et — indiquent l'intensité relative des pôles.

Les fig. 41 et 44, font connaître deux manières d'adapter l'hélice; dans l'une (fig. 44), celle-ci est appliquée sur la branche très-près du pôle; dans l'autre elle est enroulée autour de la culasse où elle produit, à la vérité, un double effet, l'électro-aimant étant double. Ce dernier mode d'enroulement que nous appellerons *circulaire*, rappelle le bifurqué monocnème (fig. 20 ou son double fig. 19); le résultat n'est pas avantageux, car la portion de branche qui sort de la bobine n'est autre chose qu'une armature appliquée sur le pôle.

§ 86. *Dicnème.* — Dans ce genre, il faut placer les hélices aux extrémités, même si les pôles doivent être de *même nom*; alors le pôle antinome se trouvera au milieu, conformément à ce qui a été dit plus haut.

§ 87. Le *dicnème à pôles antinomes* aura plus de force; chacune des branches jouira d'une certaine polarité, sauf toutefois la branche centrale, celle qui coïncide avec le point neutre. Ici encore, la puissance magnétique des branches dénudées décroît à mesure qu'on se rapproche de la ligne neutre (fig. 11, pl. II, *c d*).

Mais chez les dicnèmes comme chez les monocnèmes, cette ligne neutre peut devenir active en présence d'une armature en rapport avec le pôle, car sous l'influence de celui-ci, l'armature acquiert une polarité plus ou moins forte et se comporte dès lors tout comme un aimant.

Ce qui précède peut se dire de tout multifurqué dont

Digitized by Google

les branches ne sont pas entièrement garnies, c'est-à-dire, de tout multifurqué qui n'appartient pas au genre suivant :

§ 88. *Osacnème*, ou multifurqué ayant *autant d'hélices que de branches*. (ὁσάκις, autant de fois que).

Ici encore, les hélices peuvent être appliquées de deux manières : soit sur les branches, soit autour de la culasse, si celle-ci est suffisamment épaisse.

Bien que la polarité soit subordonnée au sens des hélices, nous ferons remarquer que sous le rapport de l'intensité, il y a une grande différence entre les deux manières d'aimanter. Par l'aimantation directe des branches, la puissance de chaque pôle sera ce que l'on voudra, ou forte ou faible, suivant le nombre des tours de spire, ou l'intensité du courant, tandis que par l'enroulement circulaire, on n'obtient jamais des pôles isodynamiques à moins de changer de sens à chaque branche nouvelle, ce qui, comme nous l'avons vu, est un mode éminemment vicieux.

Lorsque l'enroulement circulaire est uniformément de même sens, on rentre dans le cas examiné aux §§ 77 *bis* et 80 et on peut alors raisonner comme si l'on n'employait qu'une hélice. C'est ce qui se présente avec la fig. 41 ; l'enroulement y est lævogyre, comme s'il s'agissait d'un barreau rectiligne. Aussi les pôles y sont-ils épallèles, c'est-à-dire, sériés, allant en se renforçant du milieu *n*, ou point neutre, aux extrémités, ainsi que le fait voir le fantôme de la fig. 1 (pl. V).

Le fantôme (fig. 2) a été obtenu avec un multifurqué

Digitized by Google

à 5 branches, dont quatre étaient directement aimantées par une hélice enveloppante. La cinquième, placée au centre, n'était pas entourée de fil ; elle coïncide avec le point neutre ; aussi, n'attire-t-elle une armature qu'autant que celle-ci est, au préalable, influencée par l'un ou l'autre des pôles avoisinants.

Le fantôme confirme ces observations, les courbes étant purement et simplement convergentes entre les deux pôles qui entourent ce point neutre, elles sont placées à cheval sur lui et n'en paraissent pas plus affectées que s'il n'existait pas.

§ 89. Pour bien comprendre l'aimant qui a fourni le fantôme de la fig. 1 (pl. V), on n'a qu'à penser à un électro-aimant rectiligne, portant sur sa longueur, et de distance en distance, des épaulements en fer qui viennent saillir hors de la bobine, ainsi qu'on le voit dans la fig. 41. Chacun de ces épaulements possèdera le fluide qui anime le point du barreau sur lequel il est appliqué. Le plus rapproché du pôle boréal, par exemple, aura le plus de fluide boréal, et le plus rapproché de la ligne neutre en aura le moins. Le même ordre se répètera de l'autre côté de ce point, à cela près que la polarité sera australe.

§ 90. En armant l'un des côtés polaires de cet aimant double on n'épuise pas complétement sa force attractive. L'autre côté est encore susceptible d'exercer de l'attraction, soit au contact, soit même à distance. Nous n'insistons pas sur ce fait, car il sera l'objet d'une étude spéciale au chapitre des électro-aimants circulaires.

Digitized by Google

Les multifurqués de cette catégorie se placent à côté des bifurqués de la fig. 19 et du trifurqué de la fig. 39. Comme les pôles ne se trouvent pas seulement en A et B ou en A et B' (fig. 41), mais aussi sur les côtés qui relient A à A' et B à B', l'électro- aimant a été légèrement cintré aux extrémités afin de rejeter sur les pôles compris entre A B et A' B', le fluide qui se serait, à coup sûr, répandu sur les lignes de jonction de ces points, si ces lignes avaient été droites (§ 30).

Note sur les fantômes des électro-aimants multifurqués (pl. V).

Le fantôme n° 1 a été obtenu avec le multifurqué à enroulement circulaire dont il a été question au § 85; c'est ce qu'attestent les courbes qui rappellent, de tout point, le fantôme d'un électro-aiman t rectiligne monocnème (pl. IV, fig. 1).

Le maximum de puissance se trouve aux extrémités, où l'on remarque aussi des vides qui font entièrement défaut autour des trois pôles intérieurs; celui du milieu est même à peine indiqué; il coïncide avec le point neutre, car, ainsi qu'on le peut remarquer, les courbes n'en sont nullement affectées.

Ce même point neutre reparaît dans le fantôme de la fig. 2, bien que l'électro-aimant correspondant ait été obtenu, en enroulant le fil autour des branches, et non plus autour de la culasse. Il est vrai que le point central, ou neutre, n'a pas reçu d'hélices. Le fantôme fait claire-

Digitized by Google

ment voir que les hélices employées étaient alternativement de sens contraire; il rappelle celui de la fig. 2 (pl. IV), obtenue d'une manière analogue avec un électro-aimant rectiligne (§ 45).

Digitized by Google

CHAPITRE VII.

2e CLASSE.

Electro-aimants à disques (Pl. II).

Synonymes : Engrenages magnétiques ; Poulies magnétiques. — Poulies aimantées. — Roues aimantées. — Electro-transmetteurs de mouvement.

§ 91. — Les faits qui viennent d'être exposés, vont nous être d'un grand secours dans l'étude des électro-aimants à disques qui sont, tout entiers, de notre invention. Plus spécialement destinés à recevoir un mouvement et à le transmettre à la manière des engrenages, ces électro-aimants ont la forme de poulies et reposent comme elles, dans des coussinets au moyen de tourillons formant le prolongement de l'axe.

Ces conditions cependant ne sont pas essentielles ; car les électro-aimants à disques peuvent, tout aussi bien, produire des effets statiques et nous en verrons plus loin qui sont doués d'une puissance imposante.

§ 92. — Cette classe se compose de deux divisions :

1° Les Electro-aimants para-circulaires ;

2° Les Electro-aimants circulaires.

Pour plus de clarté nous mettrons sous forme de tableau les caractères distinctifs de ces deux divisions.

Digitized by Google

Electro-aimants para-circulaires.	*Electro-aimants circulaires.*
Les disques sont directement aimantés par les hélices.	Les disques ne sont pas directement influencés par les hélices.
Ils sont aimantés, de préférence, sur les points compris dans l'hélice; ils peuvent l'être en plusieurs points de leur circonférence.	Ils sont aimantés sur tout leur pourtour.
Ces points peuvent jouir de la même polarité ou d'une polarité différente.	Chaque disque ne possède qu'un fluide.
Pendant la rotation, les disques subissent successivement en chaque point de leur circonférence, une aimantation suivie de désaimantation.	Pendant la rotation, ils conservent leur fluide et leur polarité.
Les hélices sont fixes.	Les hélices peuvent être fixes ou mobiles.
Leurs tours de spire sont parallèles au plan de l'armature.	Leurs tours de spires sont perpendiculaires au plan de l'armature.
La résultante des actions magnétiques est située dans le plan de l'axe du pôle.	La résultante des actions magnétiques est perpendiculaire à l'axe du pôle.
Ces actions étant constamment suivies de réactions, cette résultante éprouve des dépressions d'autant plus grandes que la rotation est plus rapide et que le fer des noyaux possède plus de force coërcitive.	La polarité du disque n'étant pas modifiée par la rotation, cette résultante ne paraît pas grandement affectée par elle.
Le foyer principal réside dans les disques.	Le foyer principal réside dans le moyeu.
L'épaisseur du moyeu ne doit pas dépasser celle des disques.	Une condition de force, c'est d'avoir un moyeu à grande section.

Digitized by Google

Les disques doivent être à grand diamètre.	Les disques doivent être à petit diamètre.
Leur masse peut être aussi grande que possible.	Leur masse doit être aussi réduite que possible.

§ 93. — Ces différences sont, comme on voit, assez caractéristiques; les propriétés sur lesquelles elles se fondent, sont susceptibles d'applications que nous signalerons en temps et lieu.

Au nombre de ces applications il en est une dont nous dirons de suite quelques mots, c'est celle de transmettre le mouvement à la manière des poulies d'engrenage. Cette transmission peut être faite à des disques ou à des poulies en fer d'un diamètre même très-faible si on veut s'en servir pour multiplier la vitesse.

Nous disons que cette opération peut être réalisée à la manière des engrenages; en effet, lorsque l'appareil est en mouvement, les deux disques tournent en sens contraire l'un de l'autre; mais là s'arrête l'analogie, car les disques magnétiques sont polis au pourtour, les dents d'engrenage y sont remplacées par une attraction qui, dans le cas particulier, a reçu le nom *d'adhérence magnétique* (Chap. XX) et qui peut être comparée au frottement qui se produit entre les poulies de friction, frottement que l'on obtient quand, à l'aide de ressorts, on presse fortement deux poulies l'une contre l'autre.

§ 94. Il n'est pas indispensable que ces disques magnétiques soient absolument circulaires; ils peuvent avoir une forme elliptique, par exemple, sans que, pour cela, le fluide soit trop inégalement partagé sur la circonférence.

Digitized by Google

§ 95. — La poulie armature, en termes du métier, la poulie *commandée*, peut recevoir le mouvement sans qu'elle soit maintenue par des coussinets ; en vertu de l'attraction magnétique, elle restera suspendue à l'aimant et tournera ensuite, lorsque l'électro-aimant sera animé d'un mouvement de rotation (voy. les fig. 2, 9 et 16 de la Pl. II.)

§ 96. — C'est ici le lieu de dissiper une erreur souvent professée et qui est toute en faveur de l'adhérence magnétique et des électro-aimants à disques. Bien des personnes qui ne se font pas une idée assez nette du fait désigné par le mot *adhérence*, croient que la somme de force qu'elle exprime ou qu'elle peut transmettre est identique à la charge que l'électro-aimant circulaire est capable de soutenir en un point quelconque de sa circonférence. En sorte qu'un électro-aimant circulaire capable de 500 kil., et nous verrons qu'il est aisé d'en obtenir de cette force là, serait par cela même capable de transmettre une puissance de 500 kilogrammes dans l'unité de temps. Ce serait là un résultat magnifique, dont nous aurions lieu d'être enchanté ; la vérité est qu'avec des appareils bien installés, et des rails secs et propres, l'adhérence est, en moyenne, le *sixième* de la force portante, en sorte que les 500 kil. d'attraction supposée, correspondent, dans notre engrenage, à des dents dont chacune peut supporter un effort de 83 kilogrammes sans se rompre.

Le résultat, comme on le voit, est encore assez beau

Digitized by Google

si, le comparant aux rendements des engrenages ordinaires, on songe au frottement que p roduisent les dents au dégrenage ; par ce frottement toujours compliqué de glissement, la vitesse de rotation est nécessairement limitée, tandis que, comme on le verra, elle peut être considérablement augmentée avec les électro-aimants à disques où il n'y a d'autre frottement que celui qui est occasionné par les *dents invisibles* de la pression magnétique.

§ 97. — Ce frottement, toutefois, n'est pas à dédaigner, ce que nous en savons nous autorise à avancer qu'il équivaut à celui des poulies de friction. En un mot, on peut dire que le *frottement magnétique* est sensiblement égal au *frottement par pression* et qu'il y a entre le frottement magnétique et la force qui l'occasionne, un rapport égal à celui qui existe entre le frottement *mécanique* et la pression qui en est la cause, toutes les fois que cette pression s'exerce normalement (§ 28).

§ 98. — Les corps gras, la glace ou le verglas, etc., en général, les matières étrangères portent à l'adhérence magnétique un préjudice semblable à celui qu'elles portent à l'adhérence ordinaire. Si, dans ce dernier cas, on explique ce préjudice en admettant que ces matières, lubréfiant les surfaces, font disparaître les inégalités et empêchent les poulies d'engrener, on peut, dans le cas de l'adhérence magnétique, admettre que ces corps étrangers agissent en interposant une matière étrangère, et

Digitized by Google

par suite, en établissant une certaine distance entre l'aimant et l'armature, distance peu considérable sans doute, mais appréciable quant à la force transmise. On comprend, en effet, qu'un intervalle même infiniment pétit, puisse occasionner un affaiblissement, puisque l'attraction magnétique décroit comme le carré de la distance augmente.

§ 99. — De même que les électro-aimants à branches, chacune des divisions qui composent les électro-aimants à disques se divise en quatre familles, qui sont :

1° Les unidromes ;
2° Les bidromes ;
3° Les tridromes ;
4° Les multidromes ;

Le nom de la famille est déterminé par le nombre des disques, jusqu'à trois inclusivement ; à partir du quatrième, commence la famille des disques multiples ou *multi*-dromes, un disque de plus ne changeant, dès lors, plus rien aux propriétés fondamentales du système.

C'est, comme on voit, la répétition de ce qui a été dit au sujet des électro-aimants à branches et cette répétition ne contribuera pas peu à l'intelligence de ce qui va suivre.

Il en est encore de même des genres, essentiellement déterminés par le nombre des hélices, des espèces qui tirent leur nom de la nature des pôles, enfin, des variétés, dénommées d'après la puissance relative de ceux-ci.

Digitized by Google

Chez les tri dromes, de même que chez les trifurqués, on verra un genre *épallèle* (à pôles sériés) et un genre *énallèle* (à pôles alternatifs); nous appelons ainsi les électro-aimants circulaires à points conséquents, que nous avons publiés, il y a déjà plusieurs années et dont on a, malheureusement, abusé en leur sacrifiant les bi-dromes qui sont à la fois, plus puissants et plus simples.

La nomenclature des électro-aimants à disques, offre encore une autre analogie avec celle des électro-aimants à branches, c'est que les noms des familles y sont empruntés au latin (*dromos, i* course), tandis que ceux des genres, des espèces et des variétés dérivent du grec. Par ex. : *Uni-drome monocnème*, un disque et une hélice; *multi-drome polycnème*, beaucoup de disques et beaucoup d'hélices, désignent des électro-aimants dont on reconnaît de suite la famille et le genre; le nombre des disques qui forme le nom de famille étant exprimé en latin, tandis que le nombre des hélices est désigné par des mots grecs.

Digitized by Google

CHAPITRE VIII.

ELECTRO-AIMANTS A DISQUES.

1re DIVISION.

Electro-aimants para-circulaires (1) (pl. II et III).

§ 99. *Généralités.* — Nous commençons l'étude des électro-aimants à disques par les électro-aimants para-circulaires, parce qu'ils ont le plus de rapport avec les électro-aimants à branches. Aimantés comme eux par une hélice le plus rapprochée possible de la surface polaire, ils en diffèrent par la forme des noyaux, par leur destination et par conséquent, par la manière dont ils agissent sur les armatures.

Les noyaux sont circulaires, ainsi que le font voir les fig. 9-17 de la planche II, mais les hélices agissent sur eux comme sur des électro-aimants rectilignes, d'où il suit qu'un électro-aimant para-circulaire unidrome peut être considéré comme un électro-aimant rectiligne, dont le noyau a été aplati et taillé en disque.

Une comparaison analogue peut être établie entre les

(1) Brevet d'invention, 1851, 9 août. — *Bulletin de la Société d'encouragement* 1852 et 1853. — *Thèse pour le Doctorat ès sciences*, juillet 1853. — *Silliman's American journal of science and arts*, vol. XVI, p. 337. — *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, T. XXXVIII. — *Ateneo italiano passim.* — *L'Institut*, 1854.

Digitized by Google

électro-aimants à plusieurs disques et ceux à plusieurs branches.

On peut donc dire que les électro-aimants para-circulaire établissent la transition entre les électro-aimants à branches et les électro-aimants circulaires.

§ 100. Les poulies qui servent d'armatures peuvent être disposées de façon à ne pas toucher l'électro-aimant lorsque le courant est interrompu, leur axe, cependant, a un jeu suffisant pour permettre à la poulie de se rapprocher de l'aimant lorsque le courant passe, d'adhérer à lui, d'en recevoir le mouvement et de le quitter de nouveau lorsque le courant vient à cesser.

§ 101. Les électro-aimants para-circulaires peuvent être à 2, 3, ou plus de disques; ils ressemblent alors aux électro-aimants à 1, 2, 3 ou *m* branches. Ces disques peuvent être chacun garnis d'une hélice, ou ils peuvent ne pas l'être, tout comme leurs similaires à branches; la nomenclature se calquera donc sur ces derniers, ainsi que nous l'avons vu au précédent chapitre.

§ 102. Ces électro-aimants offrent un caractère qui les distingue de tous les autres, c'est d'admettre plus d'une hélice par surface polaire (fig. 18, pl. II). Par exemple, ce qu'on aura fait au point B (fig. 9), pourra être répété, pour ainsi dire, en chaque point de la circonférence, et la roue ou le disque étant aimantés de la sorte, pourront, à l'instar de pignons d'engrenage, donner le mouvement à plusieurs poulies aux diamètres les plus différents, sans qu'il faille pour cela le concours

Digitized by Google

d'une poulie intermédiaire, comme le veulent les engrenages à dents.

§ 103. Voilà donc les seuls électro-aimants capables d'avoir des disques coiffés de plusieurs hélices. En ajoutant à cette qualité, celle de pouvoir en admettre autant qu'ils ont de disques, et celle d'en avoir moins, on a les éléments d'une classification qui permettrait de distribuer les électro-aimants para-circulaires en 3 groupes, savoir :

1° Le groupe *osacnème;* autant d'hélices que de disques (ὁσάκις, *autant de fois que*).

2° Le groupe *essocnème*, moins d'hélices que de disques (ἧσσον, *moins de*).

3° Le groupe *pléocnème*, plus d'hélices que de disques (πλεον, *plus de*).

Le groupe osacnème, serait le plus naturel et les deux autres se calqueraient sur ce qui a été dit au sujet des trifurqués et des multifurqués. Cependant, pour éviter les néologismes, autant que pour faciliter l'étude de cette classe d'électro-aimants, nous préférons leur appliquer la classification commune.

§ 104. Les électro-aimants para-circulaires formeront donc quatre familles, qui sont :

1re *FAMILLE*, les unidromes, ou à un disque;

2e *FAMILLE*, les bidromes, ou à deux disques;

3e *FAMILLE*, les tridromes, ou à trois disques;

4e *FAMILLE*, les multidromes, ou à beaucoup de disques.

Digitized by Google

CHAPITRE IX.

ELECTRO-AIMANTS PARA-CIRCULAIRES.

1re *FAMILLE*. — *Unidromes* (à un disque) (pl. II et III).

Genres : 1° monocnème.
2° pléocnème.

MONOCNÈMES.

1° à pôles *isodynamiques*.
2° à pôles *hétérodynamiques*.

§ 105. La première tentative pour aimanter une roue en mouvement a été faite avec un disque monté sur un axe qu'on fit tourner dans une hélice. Trouvant la partie comprise dans l'hélice, passablement aimantée, je rapprochai d'elle un autre disque semblable au premier, et je vis celui-ci recevoir le mouvement de la part du disque aimanté et adhérer à lui avec une force appréciable ; car il fallait un certain effort pour empêcher la rotation et pour déterminer le glissement.

Cette espèce d'électro-aimant para-circulaire sera donc le *unidrome-monocnème*, c'est-à-dire, formé d'un disque et d'une hélice.

La manière dont les fluides s'y distribuent est fort

Digitized by Google

simple ; elle rappelle ce que nous avons dit des électro-aimants rectilignes (§ 38). L'hélice partage le disque en deux parties magnétiquement distinctes ; un des pôles est au-dessous d'elle, l'autre est au-dessus (fig. 9, pl. II et fig. 1, pl. III).

L'emploi d'un disque ou d'une roue pleine n'est pas indispensable, une roue quelconque peut convenir pourvu que son bandage et sa jante soient en fer et qu'ils offrent l'un et l'autre une épaisseur suffisante (fig. 1, pl. III).

§ 106. On peut augmenter cette adhérence en rendant l'hélice assez profonde pour embrasser le point de contact du disque et de son armature (fig. 10, pl. II), conformément à ce fait bien constaté, que deux cylindres s'attirent et ne se comportent plus que comme un seul, lorsque, marchant l'un vers l'autre dans le sens de leur axe, ils se rencontrent dans une hélice.

Dans ce cas, l'aimantation par l'hélice ne s'exerce pas seulement sur la poulie de commande elle s'exerce également sur la poulie commandée.

Une condition que ces engrenages doivent remplir c'est de ne pas tourner très-vite, sinon, en vertu des réactions magnétiques auxquelles nous avons fait allusion plus haut, l'adhérence éprouve un affaiblissement proportionné à la vitesse de rotation et qui est d'autant plus sensible que le fer des noyaux est plus aciéreux.

Cet affaiblissement qui n'est rien quand le fer est dénué de force coërcitive, est notable dans le cas contraire; nous en verrons des preuves frappantes au chap. XX.

Digitized by Google

§ 107. Nous savons qu'en aimantant un disque par une hélice transversale, les fluides se partagent comme dans l'électro-aimant des fig. 8 et 9, pl. I. Ainsi que le fait voir le fantôme de la fig. 6, pl. 5, il se produit deux pôles, l'un à droite et l'autre à gauche, ou encore suivant la position de la roue, l'un au-dessus de l'axe et l'autre au-dessous. Supposons un électro-aimant rectiligne; applatissons le noyau par la pensée et donnons-lui la forme d'un disque, rien ne sera changé dans les polarités, mais nous aurons la fig. 9, pl. II. On voit de suite ce qui arrivera quand on imprime un mouvement rotatoire à ce disque ; le pôle A se rapprochera de l'hélice et y entrera, pour émerger en un point B, le point de contact qui jouit de la polarité contraire. Ce changement de pôle s'opère pendant que le disque est dans l'hélice et, pour qu'il puisse avoir lieu, il faut naturellement le concours d'une certaine quantité d'électricité, puisqu'il s'agit de détruire le fluide austral précédemment développé. Or, si le fer du disque possède de la force coërcitive, c'est-à-dire, s'il n'abandonne pas promptement le fluide acquis, il peut arriver que la réaction magnétique ne se fasse pas en temps utile et que le disque ait accompli sa révolution avant que l'aimantation au point de contact, soit complète; elle s'achèvera un peu plus tard, mais alors le maximum d'attraction ne siégera plus en ce point, il se trouvera un peu plus loin en *c*, par exemple, ou même en *D* suivant la vitesse.

La nécessité de détruire d'abord le fluide antagoniste

Digitized by Google

occasionne donc un retard dans l'aimantation; ce retard amène le déplacement du pôle. Localisé pendant le repos en B, qui est le point par où passe la résultante des actions magnétiques, il se reporte en arrière, pendant le mouvement.

§ 108. On pourrait jusqu'à certain point, neutraliser cette action perturbatrice en employant des bobines cintrées. En les relevant en avant ou en arrière de la roue suivant le sens du mouvement, et d'une quantité correspondant à sa vitesse, il serait possible de faire coïncider avec le point de contact, le pôle qui a été déplacé par suite de la rotation. Néanmoins, ce ne serait là qu'un palliatif, et il vaudra toujours mieux employer des disques en fer doux, lorsque la pratique comporte cet emploi.

Quoi qu'il en soit et quel que soit le genre de bobine à employer, il est indispensable de rapprocher, autant que possible, celles-ci des points de contact, c'est-à-dire, des pôles; à cet égard, nous renvoyons à ce qui a été dit au sujet des électro-aimants à branches.

La disposition à pôles *hétérodynamiques* sera donc de beaucoup la plus importante, sans exclure pour cela, celle à pôles *isodynamiques*. Cette dernière espèce dont le fantôme, assez imparfait, est tracé sur la planche V (fig. 6), permet l'emploi de deux armatures tout en ne se servant que d'une hélice. Mais ici encore, il est bon de ne pas donner trop d'étendue à la surface polaire et d'élargir l'hélice de façon à ce qu'elle enveloppe le plus de fer possible.

Digitized by Google

PLÉOCNÈMES (PL. II, FIG. 18).

1° à pôles *isonomes;*

2° à pôles *antinomes.*

§ 109. *Pléocnéme.* — Ce genre comprend tous les unidromes ayant plus d'une hélice.

Ces hélices pourront être de même sens, ou de sens opposé. Dans le premier cas, les différents points de contact seront isonomes, dans le second cas, ils seront hétéronomes, et ces deux situations se traduiront par un fait important à constater, savoir : dans l'aimantation isonome, l'adhérence au point B (fig. 9) diminuera à mesure qu'on augmentera le nombre des points de contact, tandis que dans l'aimantation hétéronome, elle gagnera à ce que les pôles voisins soient armés, ainsi qu'il résulte de ce qui est dit au § 54, où l'on voit que l'on renforce toujours un pôle en nourrissant le pôle contraire correspondant.

§ 110. Il suit de là que les unidromes à hélices multiples ne pourront avoir de succès qu'à la condition d'offrir un diamètre convenable. Comme il faut, quoi qu'on fasse, compter toujours avec le fluide de nom contraire et lui faire sa part d'une manière quelconque, ce fluide, dans le cas présent, se réfugiera, en majeure partie, vers le centre du disque, autour des tourillons. Une portion, cependant, se trouvera dans l'intervalle des hélices, en x, y, et z.

Digitized by Google

En rapprochant, autant que possible, les hélices, on peut réduire considérablement ces espaces intermédiaires, et arriver, jusqu'à certain point, à une aimantation rappelant celle des électro-aimants circulaires. Mais qu'on ne cherche pas à pousser ce principe jusqu'à ses dernières conséquences, et que, à force de supprimer les intervalles, on ne s'avise pas de remplacer toutes ces bobines partielles par une bobine unique, appliquée contre la circonférence du disque, car alors, de deux choses l'une, ou il n'y aura rien, ou il y aura aimantation.

Il n'y aura rien, et il ne doit rien se produire si le disque est parfaitement plane, si en un mot la bobine ne comprend pas de fer dans le circuit.

Il y aura aimantation si le disque est monté sur un axe; mais alors, c'est l'axe qui fournit le fluide, et nous rentrons dans les électro-aimants circulaires.

Ce n'est pas en appliquant une hélice contre un barreau, une plaque ou un disque en fer qu'on parvient à développer du magnétisme, on ne réussit pas davantage en appliquant sur eux, et parallèlement à eux, un fil isolé, traversé par un courant; pour qu'il y ait aimantation, il faut que ce fil circonscrive la masse de fer et trace au moins une spire autour de lui.

La connaissance de ce fait est presque aussi ancienne que les électro-aimants eux-mêmes; nous la devons à Arago et à Ampère.

L'hélice para-circulaire est donc indispensable.

Digitized by Google

Ces considérations s'appliquent aux électro-aimants para-circulaires des quatre familles ; car, ainsi qu'on le verra, tous sont aptes à devenir pléocnèmes. Mais la pléocnémie hétéronome doit être préférée à celle à pôles de mêmes noms ; car la première donne bien plus de force que la seconde.

Digitized by Google

CHAPITRE X.

DEUXIÈME FAMILLE D'ÉLECTRO-AIMANTS PARA-CIRCULAIRES.

Bidromes (deux disques) (pl. II).

Genres : 1° monocnème ;
2° osacnème ;
3° pléocnème.

MONOCNÈMES.

A pôles *antinomes* et *hétérodynamiques*.

OSACNÈMES.

1° à pôles *isonomes* ;
2° à pôles *antinomes*.

§ 111. Du para-circulaire à un disque et à une hélice de la précédente famille, à l'osacnème (composé de deux disques et de deux hélices de sens contraire), il n'y a qu'un pas, qui est marqué par la fig. 12, pl. II, dans laquelle l'électro-aimant agit par ses deux pôles sur une armature cylindrique.

Cet électro-aimant à deux pôles de même intensité et de noms contraires se place à côté des bifurqués de même espèce, et en partage les propriétés générales, à

Digitized by Google

cela près toutefois, que si, dans ces derniers, l'allongement des branches est sans influence sur la force portante, il n'en est pas de même d'un para-circulaire dont on augmenterait le diamètre, par la raison que, par suite de cette augmentation, on agrandit la surface de contact ainsi que la masse à aimanter. Sur ce point donc les deux familles ne sont pas comparables.

§ 112. En supprimant l'une des hélices on obtient *un monocnème* à pôles *hétérodynamiques* (fig. 13), et on ne saurait en obtenir d'autre. Le pôle non aimanté se comportera alors à l'égard des armatures à la manière du pôle dénudé de l'électro-aimant boiteux.

§ 113. Allongeant la bobine de manière à embrasser deux disques en regard, on obtient un système composé de deux para-circulaires monocnèmes se regardant par les pôles de noms contraires, comme on l'a fait dans la fig. 10.

§ 114. La même opération peut être pratiquée avec le *bidrome* à deux hélices; alors les disques qui ont même point de contact, se touchent par les pôles de noms contraires (fig. 6, 7 et 8, pl. III).

Afin d'éliminer les réactions que pourraient occasionner les pôles secondaires qui, dans l'unidrome (fig. 9, pl. II), sont placés à l'autre extrémité du diamètre, il faut donner au moyeu une épaisseur suffisante pour pouvoir neutraliser ces pôles. On n'a pas oublié qu'ici, le moyeu représente la culasse des bifurqués. Si on se rappelle l'inconvénient que peut offrir une culasse trop faible

Digitized by Google

(§ 64), on ne s'étonnera pas du soin qu'il faut avoir, de donner au moyeu une certaine épaisseur.

A la faveur de ces précautions, chaque disque n'aura qu'un pôle dont la position précise indiquera le point par où passe la résultante des actions magnétiques exercées par l'hélice. On a intérêt à faire coïncider avec ce point, la ligne de contact de l'aimant et de l'armature.

§ 115. L'appareil (pl. III, fig. 6, 7 et 8), représente le para-circulaire en application. L'armature y est elle-même un électro-aimant. Comme il ne s'agissait que de démonstration, on a donné à l'armature les mêmes dimensions qu'à l'aimant lui-même.

Les quatre disques qui composent les deux poulies, y baignent deux à deux dans la même bobine H et H'. *S* est une manivelle qu'on peut, suivant les besoins, remplacer par une poulie ; *i* une poulie en bois destinée à recevoir une corde, une roue ou un frein Prony ; le tout est installé sur un support Z.

J'ai fait avec cet appareil, des expériences analogues à celles qui vont être rapportées plus bas (Chap. XVI), au sujet du décroissement que l'adhérence magnétique peut éprouver pendant la rotation. Ici le décroissement est sensible ; il l'est d'autant plus que le fer des noyaux est plus aigre, c'est-à-dire qu'il possède plus de force coërcitive.

§ 116. Pourquoi le magnétisme rémanent des noyaux para-circulaires fait-il décroître l'adhérence magnétique ? La réponse est dans cette autre question, pourquoi, les

Digitized by Google

télégraphes ou les machines électro-magnétiques ne peuvent-ils pas fonctionner à toutes les vitesses si les noyaux de leurs électro-aimants ne sont pas en fer parfaitement doux? C'est parce que les uns et les autres subissent incessamment des inversions de courant, inversions qui éprouvent toujours des retards lorsqu'elles doivent s'opérer en présence de polarités contraires qui ne disparaissent pas instantanément.

Car, avant de donner à un noyau le fluide boréal, par exemple, il est nécessaire de neutraliser le fluide austral qu'il peut contenir, ce qui ne se fait pas sans demander un temps appréciable et sans mettre en réquisition une portion du courant lorsque le fer qui compose l'électro-aimant n'est pas dénué de force coërcitive (§§ 105 et 106).

Le magnétisme rémanent ne signifie rien chez les électro-aimants circulaires, puisque ceux-ci conservent les mêmes pôles pendant tout le temps du travail, mais chez les para-circulaires, il joue un rôle immense; on en verra plus loin un exemple remarquable.

§ 117. Ce qui précède s'applique également aux para-circulaires osacnèmes *à pôles isonomes*, qu'on obtient en employant des hélices de même sens, ou, si celles-ci sont de sens opposé, en les plaçant dans des courants contraires. Cette combinaison qui est, comme on voit, facile à réaliser est mauvaise par ses résultats; à moins qu'il n'y ait, relativement à l'intensité du courant, une grande distance entre les disques.

§ 118. Nous dirons des para-circulaires bidromes ce

Digitized by Google

que nous avons dit de ceux à un disque : on peut facilement, en faire des pléocnèmes, en les affublant de bobines et déterminer ainsi, sur la circonférence, un certain nombre de points aimantés, tous susceptibles d'agir sur des armatures soit simultanément, soit consécutivement.

A cette catégorie appartient la fig. 14, pl. II, qui peut être considérée comme un bidrome monocnème *double*.

Digitized by Google

CHAPITRE XI.

TROISIÈME FAMILLE D'ÉLECTRO-AIMANTS PARA-CIRCULAIRES.

Tridromes (trois disques) (pl. II).

Genres : 1° monocnème ;
2° dicnème ;
3° osacnème ;
4° pléocnème.

MONOCNÈME.

1° à pôles *épallèles ;*
2° à pôles *énallèles.*

OSACNÈME.

1° à pôles *isonomes ;*
2° à pôles *antinomes.*

§ 119. Si, comme on va le voir, les électro-aimants circulaires bidromes méritent la préférence sur les aimants à 3 disques, nous serons moins exclusif à l'égard des para-circulaires qui se trouveront dans ce cas, à la condition, toutefois, que les pôles ne soient pas de même nom.

Digitized by Google

Dans le cas, par exemple, où, pour une masse de fer donnée, on ne pourrait disposer que d'un courant faible, nous préférerions répartir celui-ci sur 3 disques, et faire trois surfaces polaires au lieu de deux, en vertu des faits constatés au § 14, car, ne perdons pas de vue qu'ici, les disques constituent précisément les noyaux.

Il peut être indifférent que ce tridrome à trois hélices ou osacnème (fig 16, pl. II) soit énallèle, c'est-à-dire, à point conséquent, où que le pôle qui constitue ce point, se trouve à l'extrémité; cependant, nous donnons la préférence à cette dernière combinaison comme permettant de mieux utiliser les fluides ; mais il n'est pas indifférent du tout que les 3 pôles soient de même nom, nous en savons les motifs. La combinaison est mauvaise et doit être évitée.

§ 120. Les armatures qui doivent agir sur ces électro-aimants peuvent être elles-mêmes aimantées, soit par le système para-circulaire, soit même par le système circulaire; l'électro-aimant circulaire à 3 disques et à pôles sériés dont il sera question au § 155, convient parfaitement ici, à condition toutefois que les pôles en regard soient de noms contraires. Il convient ici, parce que l'aimantation circulaire s'applique plus facilement à des poulies de faible diamètre.

On réaliserait ainsi l'union des électro-aimants circulaires avec les électro-aimants para-circulaires (§ 178).

§ 121. Nous avons commencé l'étude de cette famille par le genre osacnème, qui est le plus important. Cepen-

Digitized by Google

dant, il est des circonstances où l'on peut se contenter d'une seule hélice. On réalise alors le genre tridrome monocnème (fig. 15, pl. II), avec lequel on peut obtenir des arrangements calqués sur ceux que nous a fournis le trifurqué (pl. I, fig. 31 et 32), soit *épallèle* ou à pôles sériés, quand l'hélice est appliquée sur un des disques extérieurs, soit *énallèle* ou à pôles alternatifs (point conséquent), lorsque l'hélice porte sur le disque central.

DICNÈMES.

1° à pôles *épallèles;*
2° à pôles *énallèles.*

PLÉOCNÈMES.

1° à pôles *isonomes;*
2° à pôles *antinomes.*

§ 122. Enfin, ces électro-aimants tridromes peuvent, comme leurs congénères des précédentes familles, admettre plusieurs hélices et devenir pléocnèmes, si le développement de leur circonférence le comporte; nous n'insisterons pas sur ce point suffisamment étudié plus haut.

Nous serons tout aussi bref sur le chapitre des dicnèmes, dont les propriétés se déduisent si facilement de ce qui précède.

Un exemple de tridrome dicnème est compris dans la fig. 17, pl. II. Cette combinaison, très-intéressante

Digitized by Google

sans contredit, est à la vérité, composée de trois disques et de trois hélices, mais ces dernières sont distribuées de façon à former un para-circulaire complexe, contenant en *a b* les éléments d'un tridrome monocnème et en *c d*, ceux d'un tridrome dicnème.

Digitized by Google

CHAPITRE XII.

QUATRIÈME FAMILLE D'ÉLECTRO-AIMANTS PARA-CIRCULAIRES.

Multidromes (plus de trois disques).

Genres : 1° monocnème ;
2° dicnème ;
3° osacnème ;
4° pléocnème.

§ 123. Les familles d'électro-aimants para-circulaires s'arrêtent ici. Nous avons déjà dit pourquoi nous ne faisons pas des para-circulaires à 4, 5, 6... *n* disques autant de familles distinctes et pourquoi nous les confondons avec les multidromes. Les mêmes raisons nous portent à n'admettre pour cette famille, que quatre genres, dont les trois premiers se calquent sur ceux des multifurqués.

Il en est d'elle comme de la précédente, nous ne pouvons pas en parler *de visû*, car pour le moment, elle n'existe que sur le papier.

MONOCNÈMES.

1° à pôles *épallèles*.
2° à pôles *énallèles*.

§ 124. Si l'on n'a qu'une hélice pour aimanter un

Digitized by Google

multidrome, il faut, autant que possible, la placer symétriquement, et par conséquent sur le disque le plus central. La fig. 11, pl. II, fait voir en *a b*, comment dans ce cas, se partageront les fluides et quelle sera leur intensité relative; on peut en juger par le plus ou moins d'ampleur des signes. — Son fantôme sera celui d'un aimant à point conséquent.

Ce monocnème est donc à pôles enallèles ou alternatifs; il serait à pôles épallèles ou, du moins, il serait épallèle par l'un de ses pôles, si l'hélice était placée sur l'un ou sur l'autre des disques extrêmes.

DICNÈMES.

1° à pôles *épallèles*.
2° à pôles *énallèles*.

§ 125. Avec deux hélices, il faut procéder comme l'indique la même figure, en *c, d*. C'est-à-dire, les appliquer, en sens opposé, sur les disques extrêmes. La figure fait voir comment les pôles s'arrangent dans ce cas. La polarité sera mixte, ce seront des pôles énallèles compliqués d'épallélisme.

L'attraction exercée par cet électro-aimant ne sera sensible qu'avec une armature portant au moins sur un pôle + et un —; elle aura encore lieu si l'on remplace l'un ou l'autre de ces pôles par le point neutre; cette question a été déjà traitée plus haut (§ 46).

Digitized by Google

OSACNÈMES.

1° à pôles *isonomes;*

2° à pôles *antinomes.*

§ 126. Il faut condamner la disposition isonome en vertu de ce qui a été dit au § 119; l'arrangement à adopter est indiqué par la figure susdite en *c d*, qui veut autant d'hélices lævogyres que de dextrogyres. Ces hélices pourront être disposées deux par deux et simuler ainsi un assemblage de bidromes osacnèmes, ou elles peuvent l'être de manière à obtenir des pôles alternatifs (disposition énallèle) ou, tout simplement, des pôles de noms contraires.

PLÉOCNÈMES.

1° à pôles *isonomes;*

2° à pôles *antinomes.*

§ 127. Etant donné un électro-aimant para-circulaire osacnème, il n'y aura qu'à faire pour chacun de ses disques ou, tout au moins, pour quelques-uns d'entre eux ce que l'on a fait pour l'unidrome de la fig. 18. Il devient alors susceptible de donner le mouvement à plusieurs poulies de différents diamètres, sans qu'il soit nécessaire de tenir compte du rapport qui existe entre la poulie de commande et la poulie commandée. A cet égard, nous renvoyons à ce qui a été dit plus haut (§ 102).

Digitized by Google

De même nous en référons au § 110, pour le sens à donner aux hélices des pléocnèmes.

§ 128. Les multidromes offrent l'inconvénient d'exiger l'emploi d'un grand nombre de disques exactement calibrés et d'une poulie allongée et parfaitement dressée, sinon l'adhérence ne sera pas uniforme, les contacts étant trop sujets à varier. Leur avantage est de répartir plus convenablement la force, et de mieux utiliser le fluide normal des disques en vertu de ce qui a été dit au § 14.

Note sur les fantômes des électro-aimants para-circulaires.

Ces fantômes se calquent sur ceux des électro-aimants à branches. Aussi, n'avons-nous reproduit qu'un seul fantôme de cette classe, c'est celui de la fig. 6, pl. V. Il a été obtenu avec un disque para-circulaire placé symétriquement dans une hélice. Bien que, au point de jonction des courbes convergentes, le dessin laisse à désirer surtout en ce qu'il donne trop d'ampleur à ces courbes et en fait des circonférences parfaites, il n'en est pas moins vrai qu'il indique clairement la distribution des fluides sur le disque et leur antagonisme, ainsi qu'on l'explique au § 106.

Ici le disque est à pôles isodynamiques ; si ces pôles étaient hétérodynamiques comme ils doivent l'être dans l'application, les courbes ne cesseraient pas d'être convergentes, seulement, celles qui émanent du pôle le plus puissant auraient naturellement le plus d'ampleur.

Digitized by Google

CHAPITRE XIII.

ÉLECTRO-AIMANTS A DISQUES.

2e DIVISION.

Electro-aimants circulaires (1) (pl. II et III).

Angl. *Circular electromagnets.* All. *Spulenfœrmige Elektromagneten* ou *magnetische Spulen.*

§ 130. — *Généralités.* — L'électro-aimant circulaire le plus simple et en même temps le plus rationnel est celui qui est représenté par les fig. 2 et 3, pl. II. Il consiste en une espèce de poulie à gorge, en fer, dont le moyeu est entouré de fil conducteur disposé en forme d'hélice. C'est, si l'on veut, une sorte d'électro-aimant rectiligne (fig. 8, pl. I), aux extrémités A et B duquel on a rapporté des disques en fer.

En venant ainsi envelopper les pôles du barreau, les disques forment armatures; néanmoins ils seront ai-

(1) Brevet d'invention, 9 août 1851. — *Bulletin de la Société d'Encouragement* 1852 et 1853, p. 252 et 312. — Thèse de physique présentée à la Faculté des sciences de Paris, juillet 1853. — *American journal of science and arts* XVI, p. 110. — *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences,* t. XXXVIII, p. 266 et 597. *Bibliothèque universelle de Genève, passim.*

Digitized by Google

mantés à leur pourtour conformément à ce fait bien connu et établi pour la première fois par M. de Haldat, savoir que dans l'aimantation du fer, le magnétisme se rend surtout à la superficie du métal (§ 30).

Dans ces électro-aimants, le foyer principal du magnétisme se trouve dans le moyeu puisque c'est lui qui est entouré de l'hélice et qui subit, par conséquent, l'action du courant.

Si donc, on veut augmenter la puissance d'un électro-aimant circulaire, il faut augmenter le diamètre du moyeu, car le magnétisme développable grandit, dans une certaine mesure, avec l'épaisseur puisqu'il est proportionnel aux racines carrées des diamètres (§ 14); toutefois, ce n'est pas là la seule condition à remplir. L'hélice peut être enroulée directement sur le moyeu, et alors elle communique avec la pile au moyen d'une espèce de commutateur facile à établir et offrant assez de durée; il n'y aura pas d'étincelles, puisque le courant est continu et ne reçoit d'autres interruptions que celles qui sont nécessaires pour arrêter la machine.

Cependant, ce commutateur tout simple qu'il puisse paraitre, est encore une complication : il est sujet à s'user et, de plus, il peut donner lieu à des étincelles lorsque par hasard, un obstacle quelconque se trouve interposé entre lui et l'électrode; il demande donc de la surveillance et parfois des réparations. Tous ces inconvénients tombent en présence de la modification que voici :

Digitized by Google

§ 130. — Au lieu d'appliquer les hélices directement sur le moyeu et de les rendre, ainsi, solidaires du mouvement de la poulie, on enroule le fil conducteur dans une bobine en laiton dont la forme soit celle de la gorge de la poulie, de manière cependant, à ce que le moyeu puisse y tourner librement et sans toucher (fig. 3 et 3 *bis*). Cette bobine prend son point d'appui en *a* en dehors du système; elle est complétement fixe; l'électro-aimant seul est mobile avec l'axe qui le supporte.

C'est donc une bobine *folle;* elle communique avec la pile non pas par friction, mais bien par contact direct, à la manière ordinaire et comme le courant s'y propage toujours dans le même sens, il n'y a pas de raison pour que les noyaux ne soient pas constamment aimantés de la même manière.

Les bobines folles sont applicables à tous les systèmes d'électro-aimants circulaires et toutes mes observations ont été faites avec des appareils à hélices affolées.

§ 131. — Les électro-aimants circulaires offrent cette particularité intéressante que les effets attractifs dont ils sont susceptibles en un point quelconque de leur circonférence, peuvent se reproduire en chaque point de leur contour. Une armature n'accaparera donc jamais entièrement un électro-aimant pareil; elle en est attirée plus ou moins fortement, ce qui n'empêche pas une seconde et une troisième armature de l'être également. Cependant, les attractions qu'on observe dans ces conditions ne sont pas égales à la somme des poids portés par chaque

Digitized by Google

armature agissant seule ; leur diminution est en raison inverse de la masse et du nombre des armatures ; mais dans tous les cas, la somme des poids portés dans ces nouvelles conditions est de beaucoup supérieure au maximum force portante fourni par l'une quelconque des armatures employées ; ainsi qu'on le verra plus bas.

Cette propriété permet d'utiliser les électro-aimants circulaires en guise de pignons, de sorte qu'un seul peut communiquer le mouvement à plusieurs poulies de calibres même très-différents, et sans qu'on soit obligé de ménager la transition au moyen de poulies intermédiaires, c'est ce que fait comprendre la fig. 5, pl. II, elle correspond aux électro-aimants para-circulaires pléocnèmes (fig. 18).

Avec ces électro-aimants, on constate un effet inverse à celui qui a été mentionné au § 19 ; une armature en palette en est plus fortement attirée lorsqu'elle est posée à plat que quand elle est appliquée par la tranche. Cet effet rentre dans la catégorie de l'action des aimants à pôles convexes (§ 18).

§ 132. — L'épaisseur du moyeu a sur la puissance des électro-aimants circulaires l'influence que nous venons de constater ; celle des disques en a une autre non moins importante. Cette influence est double et les deux effets sont contraires. C'est qu'en augmentant l'épaisseur des disques on en augmente la masse, ce qui est une cause d'affaiblissement ; mais, d'un autre côté, en augmentant ainsi la masse, on donne plus d'étendue à la

Digitized by Google

ligne de contact ce qui constitue une cause d'augmentation. Si ces effets sont contraires, ils ne sont pas égaux : aussi verra-t-on que la cause d'augmentation l'emporte sur celle d'affaiblissement.

L'inverse a lieu lorsqu'on agrandit le diamètre de ces disques ; ici encore, la masse est augmentée ainsi que la surface de contact, mais ces augmentations se font autrement que dans le premier cas où l'épaisseur des disques est seule agrandie, aussi les résultats sont-ils différents.

Donc, en augmentant le diamètre ainsi que l'épaisseur des disques on donne lieu, chez les électro-aimants circulaires, à des effets contraires qui ne se compensent pas. Mais la connaissance de ces effets qui seront précisés plus loin, nous sera utile lorsqu'il s'agira de construire de ces appareils.

§ 133. — Bien que la nomenclature des électro-aimants circulaires soit analogue à celle de tous les autres électro-aimants et que nous l'ayons calquée sur celle des para-circulaires, on remarquera, dans la colonne des espèces et des variétés, des noms nouveaux tels que : « à pôles actifs et à pôles passifs, unipolaires, bipolaires, » etc., etc. Ces expressions seront justifiées en temps et lieu.

Dans un appendice à cette famille nous faisons connaître les électro-aimants héliçoïdes dont l'analogie avec les circulaires multidromes est évidente.

Digitized by Google

CHAPITRE XIV.

PREMIÈRE FAMILLE D'ÉLECTRO-AIMANTS CIRCULAIRES.

Unidromes.

Genres : 1° Monocnème ;
2° Pléocnème.

MONOCNÈMES.

§ 134. — On peut concevoir l'existence d'un électro-aimant circulaire à un disque ou *unidrome* bien qu'en général, il n'offre pas d'avantage sur les bidromes, c'est-à-dire, les aimants à deux disques. Cependant, comme dans une circonstance donnée, ils peuvent avoir de l'intérêt, nous en dirons quelques mots.

Il dérive essentiellement de celui à deux disques, car il suffit de supprimer l'un de ces derniers ou même de n'agir que sur l'un d'eux, pour avoir en réalité un *unidrome*. Concevons en effet, que l'armature ne communique, par exemple, qu'avec B (fig. 3, pl. II), il est évident qu'elle ne touchera qu'un pôle de l'aimant, et qu'alors on rentréra dans tout ce qui a été dit sur ce point au sujet des barreaux rectilignes ou des bifurqués dont on n'arme qu'un pôle (§ 54).

§ 135. — Libre de faire agir sur le pôle A une autre

Digitized by Google

armature indépendante de la première, on peut donner lieu à un second unidrome, monté sur le même axe et qui profitera du premier en vertu de ce qui a été dit à ce même § 54.

Nous verrons au chapitre des applications, le parti à tirer de ces faits.

Au point de vue de l'effet utile, il peut ne pas être indifférent de transformer un électro-aimant à deux disques en deux électro-aimants n'ayant chacun qu'un disque polaire ; car, ainsi qu'on le verra tout à l'heure, les bidromes, semblables aux bifurqués, ont souvent des exigences différentes des unidromes ou de leurs analogues, les rectilignes. Ceux-ci, par exemple, gagnent en force quand l'hélice est accumulée sur l'extrémité polaire qui doit être mise en œuvre ; chez les autres, au contraire, cette accumulation n'a pas d'importance, évidemment parce qu'ils agissent, à la fois, par les deux pôles.

Il pourrait donc très-bien se faire que le bidrome en question eût son hélice répartie tout le long du moyeu. Du moment que cet aimant doit servir à deux fins, mieux vaut couper l'hélice en deux parties égales et rapprocher celles-ci autant que possible, des disques, c'est-à-dire, des pôles, avec la précaution de leur conserver le même sens afin d'obtenir deux pôles de noms contraires.

L'électro-aimant bipolaire, ou à deux disques, n'y perdra rien (§ 53) et l'unipolaire ou à un seul disque, y gagnera de l'adhérence (§ 39).

Digitized by Google

§ 136. — Nous venons d'assimiler les unidromes aux électro-aimants rectilignes ; cette assimilation n'est vraie qu'autant que ceux-ci n'agissent que par un pôle ; s'ils doivent agir par les deux, ils rentrent dans les bifurqués, aux lois desquels obéiront également les bidromes ou circulaires à deux disques. Seulement, il faut remarquer que ce qui là s'appelle *noyau*, *culasse*, *barreau*, ou *cylindre*, s'appellera ici *noyau*, *moyeu*, *axe*, *essieu*, ou *arbre de couche;* qu'ici le pôle est formé par un disque et que la résultante des actions magnétiques agit perpendiculairement à l'axe de l'aimant.

Les circulaires unidromes ont donc, jusqu'à certain point, à gagner à l'allongement du moyeu ; ils demandent d'autant moins d'électricité que celui-ci sera plus épais et que l'hélice sera plus rapprochée du pôle, c'est-à-dire, du disque.

Mais il faut, autant que possible, rapprocher les disques des extrémités de l'axe, car tout ce qui saillira en dehors, les tourillons, par exemple, sera aimanté en pure perte.

PLÉOCNÈMES.

1° à pôle *actif ;*
2° à pôle *passif.*

§ 137. Lorsqu'un disque est placé sur le milieu d'un arbre de couche, on peut le loger entre deux hélices, ce qui constitue le *unidrome dicnème* ou *pléocnème* puisqu'il

Digitized by Google

compte plus d'hélices que de disques (fig. 1, pl. II). C'est une disposition de tous points barbare ; nous ne la citons que pour qu'on l'évite.

En effet, si les hélices sont de même sens, le disque sera complétement *passif*, car la position du pôle coïncidera avec celle du point neutre. Si les hélices sont de sens opposé, le disque sera *actif*, il est vrai, mais il se trouvera placé sur un point conséquent qui est, comme nous l'avons vu, une cause d'affaiblissement (§ 45).

Le genre pléocnème est donc une superfétation dans la famille des électro-aimants circulaires à un disque ; une de ses espèces, celle à pôle *passif* est complétement inutile et celle à pôle *actif* peut être réalisée à moins de frais, avec une seule hélice.

Les unidromes monocnèmes l'emportent donc sur les unidromes pléocnèmes et doivent leur être préférés. Si, néanmoins, nous mentionnons ce genre, c'est parce qu'une classification doit tenir compte de tout, même des espèces inutiles.

Digitized by Google

CHAPITRE XV.

DEUXIÈME FAMILLE D'ÉLECTRO-AIMANTS CIRCULAIRES.

Bidromes (deux disques).

Genres : 1° monocnème ;
2° osacnème ;
3° pléocnème.

MONOCNÈMES.

1° à pôles *isodynamiques ;*
2° à pôles *hétérodynamiques.*

§ 138. La disposition la plus naturelle de toute cette série et qui donne, en même temps, les meilleurs résultats, est celle à deux disques et à une hélice que, pour éviter les périphrases, nous appelons *bidrome monocnème* (fig. 2, 3, 4 et 5, pl. II).

Ce genre est nécessairement à pôles de noms contraires, et la première poulie à gorge venue peut servir à le confectionner, pourvu qu'elle soit en fer. Autour du moyeu de cette poulie on enroule alors du fil de cuivre convenablement isolé et on fait passer le courant. Le sens de l'enroulement importe peu, car chez ces électro-aimants comme chez les rectilignes ou les bifurqués, les pôles sont de même intensité lorsque l'hélice est appliquée symétriquement et que les disques sont similaires.

Digitized by Google

De plus, comme ils sont destinés à agir, concurremment, par les pôles contraires, on peut répartir le fil le long du moyeu, de manière à enchâsser celui-ci complétement; cette disposition, qui ne nuit en rien à l'effet attractif, est la plus simple et la moins encombrante.

§ 139. Nous avons parlé plus haut des conditions que l'électro-aimant circulaire doit remplir pour donner le maximum de force; nous allons justifier nos assertions au moyen d'expériences que nous avons faites sur des bidromes à pôles de noms contraires.

Examinons d'abord l'influence que peut exercer :

1° le diamètre des disques;

2° leur masse;

3° leur épaisseur;

Trois espèces de disques ont été employés; ils étaient variables de rayon et d'épaisseur. Ces disques portaient, en leur centre, des ouvertures de même diamètre, destinées à recevoir un seul et même moyeu enchâssé dans une bobine.

Appelons *a, b, c,* ces disques auxquels nous avons donné les dimensions suivantes :

	diamètre	épaisseur	poids.
a	0,09	0,009	450 gr
b	0,06	0,009	195
c	0,09	0,018	900

Nous en fîmes faire deux de chaque; en tout, 3 paires de disques que l'on monta de manière à les expérimenter avec la même longueur d'axe et sous l'influence du

Digitized by Google

même courant. Cet axe ou moyeu avait $0^m,035$ d'épaisseur.

Voici les poids portés par ces cercles au moyen d'une armature cylindrique.

DEUX DISQUES	COURANT α.	COURANT β.	COURANT γ.	COURANT δ.
aa'	6 kil.	8 $^1/_2$ kil.	9 kil.	9 kil.
bb'	9	9	11	12-13
cc'	9-10	13-14	14	14-15

On voit par ce tableau que :

1° Le cercle c de même diamètre que a, d'épaisseur et de poids doubles, possède néanmoins une force portante plus considérable.

2° Le cercle b inférieur à a sous le rapport du rayon et de la masse, a donné plus que lui, malgré une ligne de contact moindre.

Ces résultats, en apparence contradictoires, sont parfaitement conformes à la théorie, en effet, les disques qui ont donné les meilleurs résultats sont :

1° les plus légers ; ils pesaient, chacun, 195 grammes ;

2° les plus lourds ; leur poids était de 1800 grammes.

Les premiers parce que, offrant le moins de masse, ils interposaient le moins de fer entre l'armature et l'aimant essentiellement formé par le moyeu (§ 92) ; les plus lourds parce que, en vertu de leur épaisseur, ils offraient une plus grande ligne de contact.

Digitized by Google

§ 140. Le maximum d'effet s'obtiendrait donc avec des disques de peu de masse et d'une grande épaisseur. Mais si l'on considère que le disque n'agit jamais que par sa circonférence, on peut présumer qu'il est inutile de lui donner partout la même épaisseur, et s'attendre à de bons effets même avec des disques plus minces au centre qu'à la circonférence, c'est-à-dire, avec des disques *évidés*.

Cette présomption est justifiée par les expériences dont voici un aperçu :

Deux pièces *d d'* semblables à *c* furent creusées d'un côté, de façon à laisser un disque de 0,009 d'épaisseur avec un rebord de 0,009 ; ils avaient donc, à leur périphérie, une épaisseur de 0,018. Ces disques ainsi évidés, pesaient chacun 575 grammes. Examiné comparativement avec les autres disques, et avec un moyeu de $0^m,017$ d'épaisseur ils ont donné les résultats suivants, exprimant à la fois les nombres obtenus au magnétomètre (§ 26) et ceux par la méthode des poids portés.

DEUX DISQUES.	MAGNÉTOMÈTRE.	POIDS PORTÉS.
a a'	0.033	2400 gr.
b b'	0.030	2500
c c'	0.038	3500
d d'	0.037	4000

Ces résultats nous apprennent :

Digitized by Google

Que les disques pleins peuvent, dans les électro-aimants circulaires, être avantageusement remplacés par des disques évidés, surtout lorsque l'action doit se passer au contact.

Si l'on compare ce tableau à celui du précédent paragraphe on trouve une certaine différence entre les poids portés dans les deux cas. Un mot suffit pour expliquer ces différences ; les résultats n'ont pas été obtenus dans les conditions mêmes : dans le premier cas, le moyeu avait $0^m,035$ de diamètre, dans le second, il n'en avait que $0^m,017$; les hélices n'étaient pas non plus les mêmes et chacune d'elles était actionnée par un courant distinct. Les expériences consignées au premier tableau avaient été obtenues en 1853, avec les puissants éléments dont je disposais à cette époque ; celles du second tableau n'ont été réalisées que bien plus tard, et, comme on voit, avec une intensité moindre.

La différence des moyens explique donc la différence des résultats tout en confirmant les conclusions générales qui précèdent, et qui découlent de la comparaison des nombres exprimant la force portante.

On peut donc dire que les disques qui conviennent le mieux aux électro-aimants circulaires, sont des disques évidés ; la fig. 8 *bis* peut donner une idée de disques pareils : *m* est le moyeu et *H* l'hélice vus en coupe. Par cet évidement on conserve aux disques leur ligne de contact avec l'armature tout en leur enlevant le surplus de la masse.

Digitized by Google

Les résultats obtenus avec le magnétomètre pour l'action à distance ne sont pas parallèles à ceux exprimant la force portante (action au contact) ; ainsi nous voyons dans le dernier tableau, $a\ a'$ donner 0,033 au magnétomètre, tandis que $b\ b'$ n'en donnait que 0,30 ; cela s'explique par la différence du diamètre : le diamètre des disques $a\ a'$ étant plus grand que celui des disques $b\ b'$, on comprend que $a\ a'$ envoyait plus de rayons que b, ou tout au moins, que la distance moyenne des pôles à l'armature roulante était moins considérable chez a que chez b.

§ 141. Il est bien entendu que les disques qui composent un seul et même aimant doivent offrir les mêmes dimensions si l'on tient à ce qu'ils possèdent la même force. Voici, au reste, quelques résultats à l'appui de cette exigence.

Ils ont été obtenus avec l'appareil et les disques que nous venons de mentionner. Seulement, au lieu de n'appliquer sur l'axe que des disques similaires, on lui appliqua des disques différents, de sorte qu'en employant, par exemple, a et b ou b et c, on réalisait une combinaison semblable à la fig. 4, pl. II.

Les nombres consignés au tableau qui va suivre expriment les poids portés isolément par chacun des deux disques mis en jeu (1).

(1) Ayant, par exemple, fait usage de a et de b, on détermine les poids portés par a puis ceux portés par b, les deux disques étant restés en place et l'aimant n'ayant pas cessé d'avoir la forme (fig. 4)

Digitized by Google

Appliqués sur le même axe.

$a = 2$ kil.	$a = 400$ gr.	$b = 2$ kil.	$a = 1800$ gr.
$a' = 2$id.	$b = 1800$ id.	$c = 500$ gr.	$c = 1500$ id.

Les résultats exposés au § 40 et tant de fois confirmés dans le courant de cet ouvrage, reparaissent de nouveau ici de la manière la plus nette. Avec les disques examinés isolément, il n'y a pas d'épaisseur qui tienne. *c* qui est le plus épais et le plus lourd donne moins que *b*, qui est le plus léger et le plus petit. Ces faits sont donc diamétralement opposés à ceux obtenus avec des disques *b*, *b'* ou *c c'*, c'est-à-dire, avec des disques semblables. Ici (Tabl. des pages 171 et 172), le maximum est fourni par *c c'*, dans le précédent tableau, et avec des disques dissemblables c'est *b* qui porte le plus.

Il est donc établi qu'en n'opérant que sur un pôle, le maximum est fourni par le disque qui offre le moins de développement. En appliquant l'armature sur les deux, le maximum est rendu par le disque le plus massif, du moment qu'il est le plus épais à la circonférence.

Ce qui prouve que :

De même que chez les bifurqués, les effets diffèrent du tout au tout suivant que l'on opère sur les deux pôles

qu'il avait dès l'origine. Si le tableau accuse ainsi, pour $a = 400$ et pour $b = 1800$, cela veut dire que *a* ne peut porter qu'une charge de 400 gr. quand la roue conjointe est celle que nous désignons par *b*, tandis que cette dernière est capable de soutenir 1800 gr. quand elle est balancée par le disque *a*.

Digitized by Google

séparés ou sur les deux pôles à la fois ; qu'en augmentant la masse de l'un des pôles ou disques ou en l'armant, on augmente la puissance de l'autre (§ 54).

Que le maximum d'effet est atteint quand, comme dans $a\ a'$, les deux disques sont du même calibre.

D'où il faut conclure qu'il est indispensable de donner aux cercles polaires d'un électro-aimant circulaire, les mêmes dimensions, la même forme et le même poids.

§ 142. Un point qui n'a plus guère besoin d'être démontré après ce que nous avons vu au § 63, est l'influence que les deux cercles polaires peuvent exercer l'un sur l'autre, lorsqu'ils sont placés à proximité, sur un axe très-court. C'est par ce genre de disposition que nous avions commencé les recherches auxquelles nous faisons allusion, ce sont les électro-aimants circulaires qui ont, tout d'abord, ébranlé notre confiance dans l'opinion reçue (1). Voici l'expérience que nous avons faite à cet égard, avec l'électro-aimant de la fig, 8, pl. II.

Cet électro-aimant se compose de deux disques de fer, *d*, de 9 centimètres de diamètre et de 2 centimètres d'épaisseur, évidés à une profondeur de 8 millimètres ; ces deux disques sont rapportés sur un axe *m* de 35 millimètres de diamètre, la bobine *H* est enroulée sur le moyeu qui est suffisamment raccourci pour pouvoir être emprisonné par les disques évidés ; ces derniers sont mobiles et peuvent, à partir du contact intime, être écartés à

(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, T. XXXIX, p. 653, et *Mémoires de l'Académie de Stanislas* (1855), p. 63.

Digitized by Google

volonté jusqu'à 15 millimètres, sans cesser de reposer sur l'axe dont les extrémités appuient sur des supports en laiton *l*.

Avec cet appareil, l'accroissement de force produit par l'écartement des disques, est tellement sensible qu'on le reconnait au simple attouchement avec une armature.

Voici quelques résultats :

DISTANCE ENTRE LES DISQUES.	COURANT *a*.	COURANT *b*.
Contact	1 kil.	1 1/2 kil.
Epaisseur d'une feuille de papier.	3	5
1 millimètre.	5	10
2 —	9	12-13
10 —	9	15
14 —	7	15

Ces résultats offrent moins de netteté que ceux obtenus avec le bifurqué (§ 63), par la raison qu'en écartant les cercles on les rapprochait des extrémités de l'axe, c'est-à-dire, des points où l'aimantation est maximum. Mais comme, malgré cette circonstance favorable, le point d'arrêt s'était déclaré au bout de 2 millimètres avec le courant *a* et de dix millimètres avec un courant plus énergique, le doute n'était pas possible : pour les électro-aimants circulaires comme pour les autres, l'écart entre les pôles occasionne un accroissement de force jusqu'à une certaine limite à partir de laquelle il se produit d'abord un arrêt bientôt suivi de décroissement.

Digitized by Google

Ces limites varient avec l'intensité du courant et du magnétisme développé.

§ 143. Un électro-aimant circulaire-bidrome, d'une assez grande puissance a été construit en 1854, à Florence, par le père Cecchi (1). Cet électro-aimant que son auteur destinait à des effets purement statiques avait à peu près la forme fig. 2, pl. II. Les disques assez larges, étaient circulaires; cependant, ils étaient aplatis au point de contact afin d'offrir, suivant l'auteur, plus de prise à l'armature à surface plane qu'il avait employée. C'était une erreur; il est facile de s'en assurer, en déterminant les poids portés par l'armature en un point quelconque de la circonférence des disques et de comparer le résultat avec les poids portés par la portion aplatie (2).

Le moyeu de cet aimant était le quart des disques; s'il en avait été les $\frac{2}{3}$, il aurait offert une puissance incontestablement plus grande (§ 14).

En second lieu, il ne devait agir que sur un point, et pourtant il offrait la même attraction sur tout le pourtour des disques, lesquels, ne l'oublions pas (§ 92) sont de véritables armatures; il y aurait donc de l'avantage à enlever de ces derniers tout ce qui ne fait pas partie

(1) *Ateneo italiano*, I, p. 47 et 197, *et Giornale di Scienze fisiche e di Arti. Firenze*, 1854.

(2) Si l'aplatissement est considérable, il peut néanmoins occasionner un accroissement de force, parce que le rayon se trouvant diminué, le point de contact est plus rapproché de l'axe. Au reste, au sujet de la question de l'armature nous renvoyons aux §§ 18 et 19.

Digitized by Google

des points de contact et à s'arranger de façon à ce que l'hélice s'étende jusqu'aux pôles. Il est vrai qu'alors on rentre, tout simplement, dans les bifurqués monocnèmes (§ 50).

§ 144. Nous avons parlé plus haut, de ce fait intéressant qui découle de la nature même des électro-aimants circulaires et qui consiste en ce que les effets attractifs obtenus avec une armature, se reproduisent en chaque point de la circonférence. A la vérité, ces attractions ne sont pas égales à la somme des poids portés par chaque armature agissant seule ; elles diminuent pour chacune avec la masse et le nombre de celles-ci. Mais dans tous les cas, la somme des poids portés dans ces nouvelles conditions est de beaucoup supérieure au maximum d'attraction fournie par l'une quelconque des armatures employées. Les tableaux ci-après vont compléter ma pensée.

L'électro-aimant qui a servi dans ces expériences est le circulaire à deux disques de la fig. 3, pl. II.

Voici ses éléments :

Diamètre des cercles	0,120
— du moyeu	0,050
Poids de l'aimant	3k·500
Diamètre du fil	0,0015
Nombre de tours de spire	108

La pile consistait en deux éléments de la batterie qui avait servi dans la grande démonstration du chemin de fer de Lyon, expérience dont il sera question au chapitre XX.

Digitized by Google

Les armatures employées possédaient le poids et les dimensions consignés dans le tableau ci-après :

Nos D'ORDRE.	LONGUEUR.	LARGEUR.	ÉPAISSEUR.	POIDS.	DIAMÈTRE.
N° 1.....	0m,069	0m,067	0m,011	936 gr.	
N° 2.....	0 ,090	0 ,067	0 ,020	1,007	
N° 3.....	0 ,091	0 ,067	0 ,020	1,030	
N° 4.....	0 ,111	0 ,092	0 ,022	1,645	
Nos 5 et 6.	0 ,256	»	0 ,015	380	0m,015
d, poulie identique à l'aimant....			0 ,014	3,500	0 ,120
e, pet. poulie à gorge sans moyeu.			0 ,010	1,520	0 ,100

Après avoir déterminé les poids portés séparément par chacune de ces pièces jusqu'à la rupture, je remis l'une d'elles en communication avec l'aimant, et j'approchai une autre armature de l'un des points de la circonférence de l'aimant, afin de voir ce qui pourrait rester de fluide disponible. Le résultat de cette détermination se trouve inscrit dans la colonne intitulée *traction*; il a été obtenu avec un dynamomètre fixé à l'armature ajoutée.

La colonne 8 contient la somme des attractions réalisées par le concours simultané des deux armatures.

La pile était formée de l'un des grands éléments qui ont servi dans l'expérience précédente.

Courant total : $\frac{\text{tang., } 55^\circ\ 12'}{2}$ »

Courant réduit par l'insertion de l'hélice : $\frac{\text{tang., } 38^\circ\ 30'}{2}$

Digitized by Google

NUMÉROS des expériences.	ARMATURES.	POIDS NÉCESSAIRE pour amener la rupture.	ARMATURE EN PLUS. Ajoutée.	Poids porté dans cette nouvelle condition.	Traction pour amener la séparation de la nouvelle armature.	La première armature tombe avec	Somme des attractions.
1..	N°1.	15 kil.	*d.*	— kilog.	7 kilog.	11k,590	18k,59
2..	N°2.	16,05	*d.*	—	9	14	23
3..	N°3.	17,50	*d.*	13	10	15	25
4..	N°4.	18.50	*d.*	13,500	10	15,400	25 ,400
5..	N°5.	8,80	*d.*	6	13	7	20
6..	*d*....	14	N°4.	9,500	10	10 ,5	20 ,50
7..	*e*....	10,5	*d.*	5,500	12	6	18
		100,35			71	79k,49	150k,49

Il résulte de ce tableau qu'en faisant intervenir les armatures deux à deux, la somme des poids portés dépasse de moitié celle qui a été obtenue par une de ces armatures agissant seule.

Ce fait découle encore du tableau suivant, dans lequel on fait varier l'armature ajoutée, l'armature principale restant invariable :

tang., 38° 30′

NUMÉROS des expériences.	ARMATURE.	POIDS NÉCESSAIRE pour amener la rupture.	ARMATURE EN PLUS. Ajoutée.	Poids porté dans cette nouvelle condition.	Traction pour amener la séparation de la nouvelle armature.	La première armature tombe avec	Somme des attractions.
1..			N°1.		12 kil.		
2..			N°5.	15 kil.	8		
3..	*d.*	15k500	N°4.	13	15	14,500	29
4..			N°5.	14,500	5	15,500	20,500
5..			*e.*		9		

Digitized by Google

On reconnait également un autre fait dans ces tableaux, c'est l'influence exercée par la masse de l'armature et par sa forme. Alors que l'armature cylindrique n° 5, n'est retenue qu'avec une force de 5 kil., les armatures aplaties n° 1 et n° 3 fournissent un chiffre bien plus élevé.

§ 145. Mais, en faisant agir à la fois deux armatures sur un électro-aimant circulaire, on n'a pas utilisé toute la puissance dont il peut disposer; une troisième et une quatrième armature sont encore attirées avec une intensité de moins en moins grande il est vrai, mais dont la somme peut atteindre jusqu'au triple de la puissance obtenue avec une seule armature.

Dans les expériences dont je vais rapporter les résultats, je me suis servi de cinq des armatures mentionnées; j'y ai ajouté une sixième e', de même masse et de même forme que e : pour les placer, j'ai solidement amarré l'électro-aimant de la précédente expérience, de manière à pouvoir, autant que possible, disposer de son pourtour. J'y rangeai les différentes armatures, les plus lourdes en bas ou en haut, et avec le dynamomètre qui m'a déjà servi je procédai à l'arrachement normal de chacune d'elles, avec la précaution de la remettre en place quand l'effort à vaincre était bien constaté.

Le courant a été engendré par deux éléments pareils à celui qui a déjà servi dans les précédentes expériences; je l'ai réduit aux diverses intensités à l'aide d'un rhéostat.

Courant total : tang., 52° 40′;

Courant réduit par l'hélice : tang., 11° 30′.

Digitized by Google

NUMÉROS des expériences.	ARMATURES employées.	EFFORT à vaincre.	ARMATURES ajoutées.	ARMATURES arrachées.	EFFORT à vaincre dans cette nouvelle condition.
1....	N° 1....	10	Toutes, moins n° 4.	N° 1.	5k
2....	N° 2....	13	Toutes.	N° 1.	4
3...	N° 3....	12	*id.*	N° 3.	
4....	N° 4....	14	*id.*	»	»
5....	*e*.....	4	*id.*	*e*	3
6....	*el*.....	4,5	*id.*	»	»

Le n° 4 se détachait assez facilement; il tombait au moindre ébranlement. Je n'ai pu obtenir de résultats bien nets avec cette armature en présence du courant employé. Je fis donc intervenir un courant plus intense, ce qui me conduisit aux résultats ci-après :

Tang., 27° 35′.

NUMÉROS des expériences.	ARMATURES employées.	EFFORT à vaincre.	ARMATURES ajoutées.	ARMATURES arrachées.	EFFORT à vaincre dans cette nouvelle condition.
7...	N° 1....	25 kil.	Toutes ensemble.	N° 1.	14k,5
8...	N° 2....	27		N° 2.	16
9...	N° 3....	28		N° 3.	16
10...	N° 4....	28		N° 4.	20
11...	*e*.....	10		*e*	6
Somme.					72k,5

Digitized by Google

Tang., 35° 40'

NUMÉROS des expériences.	ARMATURES employées.	EFFORT à vaincre.	ARMATURES ajoutées.	ARMATURES arrachées.	EFFORT à vaincre dans cette nouvelle condition.
12...	N° 1....	30 kil.		1	18k
13...	N° 2....	32		2	20
14...	N° 3....	32,5	Toutes.	3	24
15...	N° 4....	35,5		4	26
16...	N° 5 ...	14		5	11
17...	N° 6....	14		6	10
Somme.					109k

On voit dans ces tableaux que la somme des attractions augmente avec le nombre des armatures en même temps qu'elle diminue pour chaque armature considérée à part. Tout en restant dans la limite des erreurs dont le procédé est entaché, on peut admettre que la puissance maxima donnée par l'aimant avec une seule armature, le n° 4, a été triplée par le concours des autres pièces. D'ailleurs ce nombre n'est pas une limite; il aurait pu être dépassé avec un plus grand nombre d'armatures.

§ 146. Nous n'avons encore rien dit des bidromes à pôles de même nom, parce qu'ils sont loin d'offrir l'importance des précédents. Pour une égale dépense d'électricité, ils ont bien moins de force et ne peuvent être véritablement utilisés qu'à la condition que le moyeu atteigne ce dégré de longueur où le décroissement de la puissance attractive des disques a largement commencé.

Digitized by Google

Car, on n'a pas oublié que pour obtenir une disposition à pôles isonomes il faut employer deux hélices de sens contraire et provoquer, par suite, un point conséquent au lieu où elles se rencontrent, disposition qui n'est pas de nature à renforcer les deux pôles isonomes en question.

§ 147. Il nous reste à parler des variétés de cette famille et notamment des bidromes à pôles hétérodynamiques. Pour qu'un pareil état se produise, il suffit que l'hélice magnétisante quitte sa position symétrique. Le disque, ou pôle dont elle se rapproche sera le plus puissant, conformément à ce que nous avons vu au § 38.

Cette disposition qui, de prime abord, paraît oiseuse, peut, dans une circonstance donnée, avoir de l'importance. Par exemple, s'il s'agissait de transmettre le mouvement à deux poulies offrant des résistances différentes ou devant marcher à des vitesses différentes et ayant, par suite, des diamètres différents, il suffirait de donner à l'hélice une position dissymétrique, c'est-à-dire, de la rapprocher du disque dont on attend le plus de travail. Si l'hélice a suffisamment de force elle pourra desservir les deux disques et par suite les deux poulies commandées, sans qu'il soit nécessaire de rien changer à l'électro-aimant.

Un autre cas d'hétérodynamie est encore possible dans la pratique : c'est lorsque l'électro-aimant est formé de disques de diamètres ou de calibres différents (fig. 4, pl. II), et que l'hélice occupe une position symétrique.

Digitized by Google

On comprend qu'une hétérodynamie pareille puisse être facilement convertie en isodynamie, car il suffira de rapprocher convenablement l'hélice du côté du pôle le plus faible.

Au reste, ces divers cas, rentrent dans la catégorie des unidromes.

OSACNÈME.

1° *Unipolaire ;*
2° *Bipolaire.*

§ 148. Ce genre n'est possible qu'avec des bidromes montés sur un axe d'une longueur et d'un diamètre suffisants, par les raisons que nous avons fait connaître plus haut ; en tout cas il n'a pas d'importance, et ne vaut le précédent sous aucun rapport. Si en effet, la deuxième hélice est de même sens que la première, le disque interposé ne sera pas aimanté, parce qu'alors il se trouvera sur un point neutre, et si elle est de sens contraire ce disque se trouvera sur un point conséquent. Dans le premier cas l'électro-aimant n'aura qu'un pôle résidant sur le disque, qui n'est pas influencé par les deux hélices ; dans le second cas, il aura deux pôles ; mais le disque dicnème sera moins fortement aimanté que celui qui n'est touché que par une hélice.

Ce genre de combinaison est donc au moins inutile. Nous ne nous croyons pas, pour cela, dispensé de l'indiquer. Nous en dirons autant du genre suivant :

Digitized by Google

§ 149. *Pléocnème*, lequel, suivant la manière dont on applique le courant, peut donner un électro-aimant circulaire à pôles passifs, c'est-à-dire, dont les disques sont dénués de polarité, ou bien un électro-aimant circulaire à pôles actifs qui seront nécessairement antinomes, ou enfin un circulaire dont l'un des pôles sera actif et dont l'autre sera dénué de fluide polarisé.

Ces trois arrangements dépendent de la manière dont les hélices sont placées, manière qui découle du précédent §. Sous le rapport de la force, aucun d'eux ne vaut le circulaire bidrome, monocnème, dont il est amplement question dans les pages précédentes.

Digitized by Google

CHAPITRE XVI.

TROISIÈME FAMILLE D'ÉLECTRO-AIMANTS CIRCULAIRES.

Tridromes (trois disques) (pl. II).

Genres : 1° monocnème.
2° dicnème.
3° osacnème.
4° pléocnème.

§ 150. Sur ces quatre genres il y en a deux auxquels nous appliquerons ce que nous venons de dire aux deux §§ précédents ; c'est-à-dire, nous ne les signalons que pour les condamner ; ce sont les genres 3 et 4, car en soumettant les trois disques d'un électro-aimant circulaire tridrome à une troisième et à une quatrième hélice, on ne pourra que nuire à la puissance magnétique.

§ 151. Avec leurs trois surfaces polaires, les tridromes comportent une partie des combinaisons que nous avons réalisées avec les trifurqués. Cette propriété est réflétée par la classification que nous venons de donner. Ce que nous disons des genres pourra se dire des espèces, en sorte que nous aurons des tridromes à pôles épallèles et des tridromes à pôles énallèles.

Digitized by Google

Cette ressemblance est confirmée par la comparaison des figures (6, pl. II; fig. 33 et 39, pl. I), ainsi que des fantômes respectifs (pl. IV, fig. 4 et pl. V, fig. 3 et 4).

Nous insistons sur ces comparaisons, qui font si bien voir l'enchaînement de tous les électro-aimants, et qui dépouillent les électro-aimants circulaires du côté, en quelque sorte fantastique, qu'on leur avait prêté.

§ 152. Conformément à ce qui a été exposé dans les deux paragraphes qui précèdent, les deux genres, osacnème et pléocnème sont donc loin de posséder, dans cette classe, l'importance dont ils jouissent dans la classe des électro-aimants para-circulaires ; mais de même que les bidromes ils admettent des pôles passifs, ce qui conduit à des variétés :

A deux pôles passifs (*unipolaire*) ;

A un pôle passif et à deux actifs (*bi-polaire*), enfin :

A trois pôles actifs, les *tri-polaires* qui admettent, à leur tour, une subdivision fondée sur le sens des hélices) ; il en sera question au § 154.

MONOCNÈMES.

§ 153. Ce genre consiste en une poulie à deux gorges dont une seule est garnie d'une hélice. On peut l'obtenir également avec les dicnèmes dont il va être question ; il suffira de laisser une des hélices hors du circuit, par exemple H (fig. 6, pl. II).

La manière dont le fluide s'y partage est facile à saisir.

Digitized by Google

Du moment qu'il n'y a qu'une seule hélice, il y aura disposition sériée, la poulie sera partagée entre deux pôles dont le siége sera de préférence sur les disques M et N' voisins de l'hélice. Le troisième disque N jouira, néanmoins, d'une certaine polarité, mais elle sera plus faible, et cela se comprend, ce disque avec la portion de moyeu qui se rattache à lui, faisant office d'armature à l'égard de l'électro-aimant proprement dit M N'. Son fluide sera celui de M; M et N étant antinomes à N', et isonomes entre eux, il en résulte qu'une armature ne sera que faiblement attirée en touchant à la fois M et N, tandis qu'elle le sera très-fortement, lorsque, s'appuyant sur l'un ou l'autre de ces deux pôles, elle viendra à s'appliquer aussi sur N' qui possède la polarité opposée.

Le fantôme confirme ces faits. Nous y reviendrons quand nous aurons fait connaissance avec les autres modifications que cet électro-aimant circulaire comporte.

Le tridrome monocnème n'est donc qu'un bidrome compliqué auquel il faut préférer le bidrome monocnème (§ 130) qui est certainement le meilleur de tous les électro-aimants circulaires.

DICNÈMES.

1° à pôles *épallèles;*

2° à pôles *énallèles.*

§ 154. Ce genre forme les espèces *épallèle* et *énallèle* les variétés à pôles de même puissance et de puissance différente (isodynamiques et hétérodynamiques).

Digitized by Google

Pour obtenir l'aimant énallèle ou à pôles alternatifs, on n'a qu'à se souvenir de ce qui a été dit aux §§ 44 et 45. On place le disque central entre deux hélices de sens contraire ; dès lors ces hélices, se regardant par les pôles de même nom imprimeront cette polarité à la portion de fer qui se trouvera sur leur rencontre.

Ce disque central aura donc un pôle antinome à N et à N'. Ceux-ci seront isonomes entre eux et l'électro-aimant sera à point conséquent. Examinés séparément, N et N' paraissent peu aimantés quand on en approche une armature que l'on a soin de ne pas incliner vers le pôle conséquent M, mais vient-on à la placer à cheval sur les deux disques N et N', de façon à les relier tous les deux, on remarque immédiatement une certaine attraction.

§ 155. Le dicnème épallèle se produit lorsque les deux hélices sont de même sens et se font suite l'une à l'autre ; dans ce cas, le disque M est complétement passif, par la raison qu'il est placé sur le point neutre de l'électro-aimant. Les pôles se trouveront donc sur les disques extrêmes, ce qu'indique fort bien le fantôme (fig. 4, pl. V), et ce qu'on peut, d'ailleurs, reconnaître par le simple attouchement avec une lame de fer.

Nous disons que M est indifférent à l'égard des armatures. Hâtons-nous d'ajouter que c'est à la condition que celles-ci ne soient pas en relation avec l'un ou l'autre des pôles N ou N', et surtout avec les deux (§ 154).

§ 156. Avec le tridrome dicnème on peut donc obtenir des effets tout à fait différents suivant que l'on

Digitized by Google

n'actionne qu'une hélice ou que l'on fait passer le courant dans toutes les deux et suivant que celles-ci sont de même sens ou de sens opposé, ou encore, ce qui revient au même, suivant que le courant électrique arrive dans celles-ci de façon à produire avec elles des effets identiques ou des effets contraires. Ces résultats assez surprenants de prime abord peuvent être réalisés à vue d'œil au moyen d'un commutateur fort simple. J'en avais disposé un dans mon laboratoire de la cité Malesherbes ; il m'a été utile dans les expériences dont nous allons parler.

§ 157. Il s'agissait de savoir laquelle de ces trois dispositions serait la meilleure. Bien que la réponse ne semblât pas douteuse, il était bon, néanmoins, de l'appuyer sur des faits positifs :

L'attraction relative, produite au repos et à différentes intensités par ces trois modes d'aimantation, a été déterminée à l'aide d'un dynamomètre agissant normalement à la poulie. L'armature consistait en une pièce de fer plate, rectangulaire, longue de $0^m,091$, large de $0^m,067$, épaisse de $0,^m02$; elle pesait 1,030 gr. C'est l'armature mentionnée au § 70. Par son côté le plus court, on la faisait agir sur un des disques en la plaçant dans le plan de celui-ci ; pour la faire porter sur deux cercles, on plaçait l'armature perpendiculairement au plan de ces derniers, toujours par la tranche la plus courte. La longue tranche servait à relier les trois cercles polaires, ce que, dans une quatrième expérience, on réalisait encore d'une

Digitized by Google

autre manière en présentant l'armature par sa grande surface à l'aimant. Cette surface était, comme on voit, triple de celle du grand côté. Un crochet terminé en vis pouvait se visser dans le côté opposé à la surface qui devait être mise en contact avec l'aimant ; le pas de vis destiné à le recevoir était calculé de manière que son prolongement passât par le centre de gravité correspondant à la position spéciale qu'on voulait donner à l'armature.

Dans les expériences que je vais rapporter cette armature figure sous le n° 3. Les deux autres armatures qui interviennent dans les tableaux ci-dessous n'ont agi que sur les trois disques. L'une était le cylindre qui sert de poulie commandée dans la figure 6, pl. II ; sa longueur était de $0^m,121$, son diamètre de $0^m,051$, son poids de $2^k,400$. L'autre armature était une verge en fer doux, longue de $0^m,38$, large de $0^m,02$, épaisse de $0^m,04$ et pesant 260 gr. ; je la désigne par V.

Dans ces déterminations ainsi que dans toutes celles qui vont suivre, les tangentes des déviations sont des moyennes tirées de deux lectures, l'une de la déviation à droite, l'autre de la déviation à gauche.

Chacune des hélices de cet électro-aimant circulaire se composait de 125 mètres de fil de cuivre de 1 millimètre d'épaisseur réparti sur 464 tours de spire, en tout 250 mètres et 928 tours de spire.

Quand je ne plaçais qu'une seule hélice dans le circuit, je réduisais le courant à la déviation produite par les

Digitized by Google

deux, afin d'avoir des résultats comparables. La pile consistait en deux éléments de la batterie qui avaient servi dans la grande démonstration du chemin de fer de Lyon (chap. XX).

Electro-aimant circulaire à trois pôles (fig. 6, pl. II.)

Courant total : tangente, 56° 20′ ;
Une seule bobine dans le circuit :

ARMATURES.	UN POLE.	DEUX POLES CONTRAIRES.	TROIS POLES.
	Tang., 3° 20.		
N° 3.	Pas d'effet appréciable.	10 kil.	22 kilog.
Poulie.	*Idem.*	»	20
V.	*Idem.*	»	6
	Tang., 6° 5′.		
Poulie.	—	—	30
V.	—	—	10
	Deux hélices contrariées. — Tang., 3° 20′.		
N° 3.	2-3 kilog.	17-18 kilog.	?
Poulie.	»	»	35 kilog.
V.	»	»	13
	Deux hélices de même sens, même courant. — Tang., 3° 20′.		
N° 3.	2 kilog.	12 kilog.	35 kilog.
Poulie.	»	»	40
V.	»	»	15

Avec quatre éléments semblables et l'armature n° 3,

Digitized by Google

les poids portés dans les différentes conditions ont été les suivants :

DISPOSITION NORMALE.			DISPOSITION CONTRARIÉE.		
Un pôle.	Deux pôles.	Trois pôles.	Un pôle.	Deux pôles.	Trois pôles.
4-5 kilog.	110 kil.	150 kil.	3-4 kilog.	106 kil.	125 kil.

Dans la détermination des poids portés par les trois pôles, l'armature a été, cette fois, présentée par la grande surface. En disposant les quatre éléments voltaïques en quantité de deux couples, ou en me servant de l'une des hélices pour dériver un courant des quatre couples disposés en tension, de manière à doubler la section du fil des deux hélices et, par conséquent, à diminuer la résistance de moitié, on obtint avec la règle V, employée comme armature, les attractions qui suivent :

Disposition normale, trois pôles.	Disposition contrariée, 3 pôles.
21 kilog.	18-19 kilog.

Il résulte de là qu'à égalité de masse, les poulies à une seule gorge doivent être préférées à celles à *n* gorges toutes les fois qu'on ne se propose pas d'obtenir un électro-aimant circulaire à *point conséquent*.

§ 158. Les résultats consignés dans les tableaux qui précèdent pourraient être multipliés à l'infini ; mais j'ai hâte de prévenir une objection qui pourrait diminuer l'intérêt

Digitized by Google

que me semble mériter l'intervention simultanée des deux fluides magnétiques. L'électro-aimant à deux gorges de la précédente expérience offre, de l'extrémité N à l'extrémité N', une étendue de $0^m,064$. L'épaisseur de M est de $0^m,018$; celle de N et de N', de $0^m,015$: la ligne tangentielle a donc $0^m,033$ de longueur quand on fait intervenir les deux pôles voisins. Mais un seul pôle offrant tout au plus $0^m,018$ de contact, il y a entre les deux lignes tangentielles une différence de $0^m,015$. Cette différence devait être pour quelque chose dans le résultat final, et dans tous les cas il était nécessaire de la réduire à un minimum. C'est ce que nous avons cherché à réaliser au moyen d'une armature qui présentait même surface de contact dans les deux cas; cette armature consistait en une barre de fer longue de $0^m,42$, large de $0^m,049$ et épaisse de $0^m,022$. Son poids était de 4 kilogrammes. Placée sur le pôle N, elle agissait sur une ligne tangentielle de $0^m,015$; placée à cheval sur deux pôles, elle comprenait également une ligne de $0^m,015$: car, si la surface polaire de cette armature avait $0^m,049$ de long, l'intervalle compris entre les deux pôles, la gorge, était de $0^m,031$, et, comme la distance de l'extrémité N à l'extrémité M est de $0^m,064$, l'armature ne pouvait entrer en jeu que pour une quantié $0^m,064 - 0^m,049$ égale à $0^m,015$, qui est la ligne de contact fournie par le pôle N.

Voici les résultats obtenus dans ces conditions. Le poids de l'armature, 4 kilogrammes, a été retranché de chaque nombre.

Digitized by Google

TANG., 6° 5′.		TANG., 12°.	
N.	N et M.	N.	N et M.
6 kilog.	14 kilog.	9 kilog.	22 kilog.

L'électro-aimant bidrome de la fig. 3, pl. II, qui a été précédemment employé, a donné des résultats analogues.

De tous ces faits, on peut conclure que la disposition tridrome qui mérite la préférence est celle à deux pôles, engendrée par deux hélices de même sens; d'où il suit que, avec un courant et une masse de fer donnés, mieux vaut toujours en tirer un électro-aimant circulaire à deux disques, le troisième disque ne pouvant être que nuisible dans les circonstances ordinaires.

§ 159. En donnant aujourd'hui une classification et une nomenclature sur laquelle nous ne sommes fixé que depuis peu, il nous semble convenable de rapporter ce que nous disions de ces trois espèces d'électro-aimants à trois disques (fig. 6), lorsque, en 1853, nous les présentions à l'Académie des sciences.

« Avec le commutateur qui vient d'être décrit, on peut donc produire trois électro-aimants différents suivant la direction qu'on donne au courant; savoir :

» 1° Un électro-aimant à pôle actif placé entre deux pôles de même nom (*électro-aimant circulaire à point conséquent*);

Digitized by Google

» 2° Un électro-aimant à pôle neutre placé entre deux pôles de noms contraires (*électro-aimant circulaire à point neutre*) ;

» 3° Un électro-aimant à pôle actif placé entre deux pôles de noms contraires (*électro-aimant circulaire à point actif*) ;

» Avec le n° 1, et en présence d'une armature, le circuit magnétique ne se forme qu'entre le point conséquent et l'un ou l'autre ou même les deux pôles extrêmes. Il ne s'établit pas lorsque l'armature ne touche que ces deux derniers qui sont de même nom et placés de chaque côté du pôle central.

» Avec le n° 2, le circuit se forme indistinctement entre tous les pôles.

» Avec le n° 3, l'armature est attirée :

» *a*. Par les deux pôles extrêmes N et N' ;

» *b*. Par les deux pôles qui renferment l'hélice.

» Il n'y a pas de circuit ou, pour parler comme M. Poggendorff, il ne se produit pas d'électro-aimant fermé entre l'armature et les deux autres pôles qui sont de même nom et placés l'un à côté de l'autre.

§ 160. C'est aussi à cette occasion que nous fîmes passer sous les yeux de l'Académie des sciences, les fantômes de ces électro-aimants, ils étaient fixés sur du papier ciré, ainsi qu'on l'a expliqué au § 29, avec cette différence, toutefois, qu'on avait fait fondre la cire en chauffant par *dessous*, après avoir interrompu le courant.

Voici ce que nous en disions :

Digitized by Google

1° Pour la combinaison *énallèle* (à point conséquent) (fig. 3, pl. V). « Ces figures représentent des courbes concentriques émanant du pôle central et aboutissant, de chaque côté aux pôles extrêmes. Les points tangentiels des pôles sont fortement accusés par des lignes parallèles, coupées perpendiculairement par des traînées de limaille allant d'un pôle à l'autre. »

2° Pour la combinaison *épallèle* (à point neutre) (fig. 4, pl. V). « Les courbes tracées par la limaille se rendent de l'un des pôles extrêmes à l'autre en s'infléchissant légèrement dans le voisinage du cercle central ; la limaille n'adhère qu'aux bords de ce cercle pour rayonner de là vers le pôle voisin, quel qu'en soit le nom. »

3° Pour la combinaison *épallèle* (à point actif). « Les courbes magnétiques des figures 3 et 4 sont exclusivement convergentes ; le fantôme de l'aimant, obtenu avec une seule hélice, présente des courbes convergentes et des courbes divergentes : les premières se produisent entre les pôles hétéronomes ; les divergentes se manifestent entre les deux pôles de même nom et sont inscrites dans les courbes convergentes, ce qui indique le rapport existant entre les intensités qui ont produit ces courbes. »

§ 161. Jusqu'ici, nous n'avons étudié les électro-aimants circulaires qu'au repos, il est temps d'examiner leur attitude pendant le mouvement. Cela est d'autant plus nécessaire que, comme on l'a vu (§ 106), les électro-aimants para-circulaires perdent de leur adhérence lorsqu'ils sont mis en rotation, perte qui s'explique par

Digitized by Google

une sorte de déplacement de pôle qui sera considéré de plus près au chapitre XX.

On comprend *à priori* que les électro-aimants circulaires soient bien plus constants, par la raison que :

1° L'aimantation s'y propage constamment dans le même sens:

2° Chacun des pôles conserve son fluide sans éprouver d'inversion;

3° Que le fluide s'y trouve développé sur toute la circonférence et non plus en un point variable, comme dans les électro-aimants para-circulaires.

Si donc la diminution de force que ces derniers éprouvent par la rotation provient de ce déplacement polaire, les électro-aimants circulaires proprement dits doivent conserver sensiblement leur puissance d'adhésion aux différentes vitesses.

C'est, en effet, ce que l'expérience confirme. Un premier essai fut tenté avec un frein *Prony*, appliqué sur une poulie en fonte K, (fig. 9, pl. III), fixée sur l'axe de la poulie-armature A: une poulie en bois *i*, placée à l'extrémité de l'électro-aimant et substituée à la manivelle S, recevait la corde destinée à communiquer le mouvement. Le volant avait deux diamètres, l'un de $1^m,60$, l'autre de $0^m,90$; il était mû à bras d'homme, de sorte qu'on ne pouvait obtenir la grande vitesse pendant une minute de durée. Mais, les coussinets étaient en bois de chêne et ne présentaient pas une résistance suffisante, puis les trois cercles n'étaient pas parfaitement

Digitized by Google

dressés, ce qui les empêchait de toucher toujours également bien la poulie commandée. Ces circonstances défavorables suffisent pour expliquer les oscillations consignées dans le tableau suivant.

ADHÉRENCE au roulement	VITESSE par minute	ADHÉRENCE au roulement	VITESSE par minute
7 kilog.	60 tours.	10 kilog.	96 tours.
7	615	9	203
5,500	1,810	8	810
6	1,992	7,10	1,600

La construction vicieuse de l'appareil ressort clairement des résultats qui précèdent. Des coussinets en bois ne présentaient pas assez de résistance ; car, à mesure que la vitesse augmentait, la surface de contact diminuait, et les deux poulies, se séparant de plus en plus du côté où le volant agissait, se regardaient sous un angle de plus en plus grand. Pendant que le cercle N' mordait profondément dans la poulie armature sous la pression que lui imprimait la corde, le cercle N ne touchait pas ou ne touchait qu'accidentellement. C'est peut-être un contact fortuit de ce genre, qui a produit l'accroissement d'adhérence signalé dans la première colonne du tableau.

Si au lieu de ne serrer le frein que d'une quantité

Digitized by Google

suffisante pour être influencé par la poulie commandée, sans arrêter la marche de celle-ci, on lui donne un serrage tel, que la rotation de cette poulie soit entravée complétement, on remarque une différence dans le degré d'aimantation que la poulie éprouve aux différentes vitesses ; mais, comme tout en changeant le mode d'appréciation on n'a rien changé dans la construction vicieuse de l'appareil, les doutes signalés plus haut, au sujet du décroissement de la puissance magnétique sous l'influence de la rotation, subsistent tout entier.

Pour échapper, autant que possible, aux causes d'erreur qui interviennent dans les précédentes expériences, et notamment pour réduire à un minimum les influences perturbatrices provenant de l'inégalité des diamètres de cet électro-aimant, j'ai cherché à opérer à distance. La barre de fer qui a servi plus haut, § 158, fut boulonnée, par une de ses extrémités, contre une poutre et abattue par la tranche sur la poulie parallèlement à celle-ci, en laissant entre les deux surfaces un intervalle d'environ 2 millimètres, ménagé au moyen d'un support. Cette barre reçut à l'autre extrémité une corde montée sur deux poulies et munie d'un plateau. Le courant étant interrompu, on détermina d'abord le poids qu'il fallait mettre dans le plateau pour soulever la barre, puis on rétablit la communication, et on reconnut le poids nécessaire à la rupture du nouvel équilibre et qui était à peu près de 1 kilogramme.

Le poids total s'élevait, en moyenne, à 6,587, déduit

Digitized by Google

de quatre pesées (6,586, 6,580, 6,600, 6,580); on plaça 6,587 grammes sur le plateau, et on fit passer le courant.

	VOLANT	AIMANT	ARMATURE
Nombre de tours par minute.....	50	312	825
	75	437	1,155

La barre ne se dérangea pas pendant ce temps, et pourtant il suffisait d'un choc imprimé au plateau ou d'une forte vibration pour le détacher.

La corde fut donc mise sur le grand diamètre du volant, les poids portés furent de nouveau déterminés: il en résulta une nouvelle moyenne plus forte que la précédente, ce qui s'explique, le courant ayant été interrompu pendant les préparatifs. La nouvelle moyenne était de 6,602 (6,600, 6,598, 6,610, 6,606); quand on interrompait le circuit, la barre de fer se détachait instantanément sous la pression de 6,600 grammes. Le rayonnement magnétique la tenait en respect, mais elle se soulevait au moindre poids additionnel qu'on mettait dans le plateau.

Voici les nouvelles vitesses observées :

	VOLANT	AIMANT	ARMATURE
Nombre de tours par minute.....	60	720	1,890
	75	909	2,363

Digitized by Google

§ 162. Enfin on a répété avec cet appareil l'expérience qui a été faite sur la roue de locomotive au moyen de la boussole de déclinaison (chap. XX): la barre fut placée, cette fois, à 1 millimètre seulement de la poulie magnétique. A 4 décimètres de l'appareil, la boussole était encore fortement affectée; quand elle fut arrivée à la position d'équilibre, on imprima à l'aimant un mouvement de rotation. L'aiguille oscillait vivement sous l'influence de l'ébranlement produit par le mouvement des poulies, mais la résultante des oscillations passa toujours par le point que l'aiguille avait choisi au repos.

Les résultats fournis par ces deux dernières expériences excluent toute idée de décroissement magnétique causé par la rotation. Malgré leur parfaite concordance et en admettant même que la diminution, dans les essais au contact, ne provient que d'une construction vicieuse, je ne saurais m'empêcher d'avoir des doutes sur la constance parfaite de l'aimantation des électro-aimants circulaires aux différentes vitesses. Le raisonnement indique un décroissement, la théorie l'exige. Voilé à l'échelle où j'ai opéré, il doit se manifester dans des expériences conçues dans de plus larges proportions. Ce décroissement sera de beaucoup inférieur à celui qu'on observe chez les électro-aimants para-circulaires qui ont l'inversion du fluide en plus et l'aimantation de toute la circonférence en moins; mais il doit exister, puisque, indépendamment du magnétisme qui anime le point de contact, le fluide qui participe à l'adhérence se recrute dans toute

Digitized by Google

l'étendue de l'électro-aimant, et que chaque molécule de fer qui constitue ce dernier fournit sa part de puissance attractive.

Quoi qu'il en soit de ce décroissement, il doit être peu de chose aux vitesses habituelles des locomotives, puisqu'il n'a pas été bien sensible à une vitesse de deux mille tours par minute.

§ 163. Nous avons dès les premiers jours employé à la transmission du mouvement ces électro-aimants, ainsi que ceux dont la description précède. Bien entendu, il ne s'agissait pas de supprimer les engrenages, les courroies, les bielles, les embrayages, etc., et de remplacer ces engins si simples et qui fonctionnent si bien, par des engrenages, non dentés, sans doute, mais compliqués d'une pile. Cependant, il est des circonstances dans lesquelles ce mode de transmission de mouvement peut rendre de grands services; il peut notamment remplacer, avec avantage, les poulies de friction, surtout lorsqu'il s'agit de transmettre une pression considérable. C'est que, dans ces appareils, le frottement est obtenu en comprimant, vigoureusement, l'un contre l'autre, les axes des poulies; par suite de cette pression, les axes éprouvent promptement de la fatigue et s'usent rapidement dans les coussinets.

Rien de pareil n'est à craindre avec l'adhérence magnétique, puisque la pression qui l'occasionne ne s'exerce, absolument, qu'au point de contact des roues.

Les électro-aimants circulaires ou électro-transmet-

Digitized by Google

teurs de mouvement, offrent sur les engrenages usités, d'autres avantages que nous résumons avec M. Dumoncel (t. I, p. 308). « Si l'on considère que dans une foule d'applications mécaniques, il est nécessaire de produire des transmissions de mouvement immédiates, avec de très-faibles moyens d'action, alors on comprendra toute l'importance des électro-transmetteurs de mouvement. Supposons, en effet, qu'il s'agisse de produire, dans un instant donné, l'engrènement de deux roues, et que le jeu de la machine ne permette pas l'introduction de leviers articulés à l'aide desquels on puisse les pousser l'un contre l'autre ; ou bien, supposons encore que, pour obtenir cet engrènement, on ne puisse disposer que d'une force excessivement faible, celle, par exemple, que pourrait donner l'aiguille d'une montre : il est évident que, dans un cas comme dans l'autre, les moyens fournis par la mécanique seraient complétement impuissants. C'est précisément dans ce cas que doivent être employés les électro-aimants circulaires. Ils peuvent s'appliquer aux mouvements circulaires et aux mouvements alternatifs. »

Nous avons, dès l'origine, réalisé ces conditions sur des électro-aimants circulaires et même des para-circulaires, en disposant l'armature dans ses coussinets de façon à ce qu'il n'y ait pas contact entre celle-ci et l'aimant, lorsque le circuit n'est pas fermé. Alors, les deux poulies (fig. 6-9, pl. III) peuvent tourner l'une indépendamment de l'autre ; mais vient-on à établir la communication galvanique à la faveur du jeu qu'on a laissé à

Digitized by Google

l'armature, celle-ci se rapproche aussitôt de la poulie devenue magnétique, se fixe contre elle, même lorsque celle-ci est en rotation très-rapide, et en reçoit immédiatement le mouvement dont cet électro-aimant est animé pour ensuite le transmettre en sens contraire.

Le même résultat peut être obtenu avec les autres électro-aimants circulaires, et surtout avec ceux à deux disques qui sont, comme nous l'avons vu, les meilleurs.

§ 164. L'aimantation circulaire est applicable à toute espèce de poulies en fer, par exemple, aux poulies coniques employées dans les *roues d'angles*. Disons cependant que l'aimantation sera plus forte dans les poulies à faible rayon, par les raisons que nous avons fait connaître au § 139.

§ 165. Nous ne quitterons pas les électro-aimants circulaires sans parler des services qu'ils sont appelés à rendre dans les machines électro-magnétiques par cette propriété caractéristique de permettre les actions au contact. En rendant compte à l'Académie des sciences d'un moteur fondé sur ce principe, et imaginé par M. Marié-Davy, M. Becquerel s'exprime de la manière suivante :

« M. Marié a pensé, et avec raison, que pour obtenir le maximum d'effet, dans les machines électro-magnétiques, il fallait que les aimants et les armatures agissent jusqu'au contact, attendu que la force électro-magnétique, comme il l'a trouvé par le calcul et l'expérience, décroît si rapidement avec la distance, qu'en employant

Digitized by Google

deux électro-aimants, lorsque ceux-ci s'approchent de l'infini jusqu'au contact, ils développent une quantité de travail telle, que les cinq sixièmes le sont dans le dernier millimètre et moitié dans l'avant-dernier. En remplaçant le deuxième électro-aimant par une armature en fer doux, les trois quarts de la quantité de travail sont produits dans le dernier millimètre de parcours de l'armature et plus de la moitié du reste dans l'avant-dernier.

» M. Marié fait rouler les électro-aimants mobiles ou les armatures, de manière à les approcher des électro-aimants fixes dans le sens de l'axe et jusqu'au contact sans secousse. Tel est le principe qui a servi de base à la construction de deux électro-moteurs décrits dans sa note, dont l'un est à rotation continue et l'autre à oscillation. Nous ne parlerons que du premier : il a fonctionné sous les yeux de vos Commissaires.....

» Les électro-aimants circulaires de M. Nicklès, accueillis favorablement par la science, trouveraient ici une intéressante application. M. Marié se propose, d'après nos conseils, de faire des essais avec cette addition qui lui permettra d'augmenter la force sans accroissement de dépense..... » (*Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, (1854), t. XXXVIII, p. 853.)

§ 166. On a beaucoup remarqué à l'Exposition universelle de 1855 un électro-moteur fondé sur l'action au contact déterminée par des électro-aimants circulaires agissant sur des cylindres mobiles autour de leur axe. Le mouvement était provoqué par la tendance des arma-

Digitized by Google

tures cylindriques mobiles, de se placer toujours au milieu du pôle d'un électro-aimant et d'y occuper une position symétrique. Ce mouvement que nous avons fait connaître quelques années auparavant (§ 71), a été appliqué d'une manière très-intelligente, dans cette machine, dont l'auteur, M. Larmenjeat, est un de nos élèves en électro-magnétisme.

Cette machine, sans contredit la plus intéressante des électro-moteurs exposés, était, d'après M. E. Becquerel, avec celle de M. Roux (§ 72), la plus économique. Malheureusement elle avait plusieurs côtés défectueux qui auraient pu être évités, ainsi que nous le verrons quelques pages plus loin (§ 167). En voici, au reste, la description; elle est empruntée au Traité de MM. Becquerel, t. III, p. 382; on la trouve également dans celui de M. de la Rive, t. III, p. 322.

» La figure 11, pl. III, indique à droite en M, une partie de l'électro-moteur vu en coupe; à gauche en K, on voit la section de celle de ses extrémités qui comprend le distributeur R. La pile qui fournit le courant est supposée en V. La longueur de la machine est à peu près de 1 mètre.

» Dans cette machine les contacts (les armatures) et les électro-aimants sont mobiles.

» Les premiers, M, M, M, sont formés par six cylindres de fer doux qui peuvent tourner sur leur axe à l'aide des tourillons *t*, *t*; ces cylindres sont placés symétriquement autour de la machine dont la forme est cylin-

Digitized by Google

drique. Les électro-aimants circulaires sont au nombre de trois ; l'un d'eux, E, est seul représenté dans la figure; ils sont composés chacun de trois disques en fer, taillés de telle manière que chaque disque présente six points de contact en fer six parties en cuivre, remplissant les intervalles jusqu'à une profondeur de 5 millimètres environ et d'une étendue double des parties en fer. Ils constituent donc un électro-aimant circulaire à trois disques ; la pièce du milieu E, ou disque central, qui doit être aimanté, d'une manière inverse aux deux diques extrêmes, a une épaisseur double de ceux-ci.

Les trois électro-aimants sont disposés à la suite l'un de l'autre sur l'axe A, mais les surfaces de contact en fer de chacun d'eux ne sont pas sur une même ligne droite, en sorte que l'action attractive qui fait rouler les électro-aimants sur les armatures mobiles autour de leur axe et servant de contact, n'a lieu que successivement.

Le commutateur K est destiné à faire passer successivement, le courant dans les trois électro-aimants ; il se compose d'une partie mobile avec l'axe, c'est la trace R, et d'une partie fixe, les cercles C C et c^{l} c^{l}. La roue R est formée de six parties métalliques et de six parties non métalliques. Le cercle c' c^{l} concentrique à C C qui porte les armatures, soutient les galets r, r^{l} r'' qui touchent continuellement à la roue pendant la rotation.

Le courant partant de la pile V passe par la poulie P, qui est en communication métallique avec l'axe A ; de l'axe, il passe dans la roue R, puis, traversant l'un des

Digitized by Google

trois galets, il va aimanter l'un des électro-aimants ; il revient ensuite à l'une des trois poulies p', p'', p''', à la pile V.

On conçoit maintenant comment le mouvement peut se produire ; la position des trois galets est réglée de telle sorte que, lorsque l'attraction a lieu entre un électro-aimant et une armature mobile autour de son axe (supposons que ce soit l'électro-aimant correspondant au galet r''), une partie métallique de la roue R vient toucher le galet r. Aussitôt après que le fer doux et la partie aimantée de l'électro-aimant ont roulé l'une sur l'autre, une pièce de cuivre se trouve en présence de l'armature et l'effet cesse ; mais alors, l'électro-aimant voisin correspondant au galet r' agit et ainsi de suite. La pièce P, qui peut déplacer à droite ou à gauche le cercle c' c', est destinée à changer la position des galets par rapport à la roue R et par suite à accélérer, à ralentir ou même à intervertir le mouvement rotatoire de la machine. »

Tout le secret consiste donc en ce que les lignes de séparation des secteurs de cuivre et de fer des trois électro-aimants, forment une spirale, ce qui fait que chaque armature est constamment attirée sur trois de ses points correspondants à trois secteurs en fer de l'un des électro-aimants et les choses sont disposées de façon à ce que le courant passe dans la bobine de cet électro-aimant et y subsiste jusqu'à ce que le secteur en fer soit placé symétriquement par rapport à l'armature. L'aiman-

Digitized by Google

tation cesse à ce moment et le courant se dirige dans l'aimant voisin où le même jeu recommence.

Le motif pour lequel la désaimantation se déclare au moment où l'armature est arrivée au milieu du secteur électro-magnétique est maintenant parfaitement clair. Tant que la position n'est pas symétrique, il y a tendance vers cette position (§ 71), et par conséquent, déplacement de la part du secteur, ce qui occasionne, naturellement, un mouvement rotatoire de la part de l'aimant et de l'armature. Si l'aimantation persistait alors que la symétrie est établie, le mouvement cesserait nécessairement, car l'armature étant également sollicitée de chaque côté par le secteur, il n'y a pas de raison pour qu'elle tourne dans un sens plutôt que dans un autre.

Voici, d'après M. E. Becquerel, le rendement de cette machine suivant les diverses dispositions de la pile :

NOMBRE D'ÉLÉMENTS	SURFACE totale du zinc de chaque élément	TRAVAIL du moteur sans voltamètre	TRAVAIL du moteur avec voltamètre	CONSOMMATION du zinc par heure et par kilogrammètre	CONSOMMATION du zinc par heure et par force de cheval
éléments	déc. carrés	kilogrammètres.	kilogrammètres.	grammes	kilogram.
20 simples, zinc intér.	0,85	0,836	0,720	160	12,000
10 doubles id.	1,70	»	0,484	203	15,200
10 triples id.	2,55	1,020	0,900	60	4,500
10 quadruples id.	3,40	1,280	0,960	61	4,575

Les dénominations : surface double, triple, quadruple,

Digitized by Google

indiquent que l'on a employé des boîtes de piles de 10 éléments et associés par les pôles de même nom, afin de produire le même effet que des couples dont les surfaces des électrodes seraient plus grandes.

Cette machine a donc donné comme minimum de dépense, une consommation de $4^k,5$ de zinc par heure et par cheval de force. Si l'on ne considère que le prix du zinc supposé à 0,70 le kilogramme, et qu'on néglige même le prix des acides employés, celui de l'usure des couples, etc., on trouve que cette consommation correspond encore à $3^f,15$ par cheval et par heure.

C'est évidemment un peu cher, et tant qu'on ne fera pas mieux, la vapeur ne sera pas menacée par l'électricité.

§ 167. Mais on aurait pu faire mieux, et c'est ce qui nous reste à exposer.

Voici d'abord par où pèche cette machine :

1° Les disques polaires des électro-aimants sont trop rapprochés (§ 142) ;

2° Ces disques ne sont pas assez larges en leur circonférence (§§ 139 et 140).

3° La disposition en point conséquent est nuisible à l'attraction (§ 138).

Pour bien faire, il conviendrait donc d'écarter les disques et de les élargir en leur circonférence.

Mais comment concilier toutes ces exigences avec les conditions imposées par la pratique? Les trois électro-aimants comprennent 9 disques et la longueur de l'appa-

Digitized by Google

reil dépasse déjà un mètre ; écarter davantage les disques c'est s'exposer à la nécessité d'allonger encore le moyeu ainsi que les armatures, et, par conséquent, d'augmenter la masse à mouvoir.

L'élargissement des disques en leur circonférence, l'augmentation de l'épaisseur du moyeu ne feraient qu'ajouter à ces inconvénients.

Et cependant, ces perfectionnements pourraient être réalisés utilement et sans augmentation de dépense; voici comment :

Au lieu de neuf disques, on n'en prendrait que six, qu'on aurait soin d'évider de façon que leur circonférence offre une largeur double de l'épaisseur du disque; celle-ci restant d'ailleurs ce qu'elle est dans la machine actuelle (§ 140).

On supprimerait donc trois disques sur neuf et on gagnerait ainsi de la place, ce qui permettrait d'écarter, sans effort, les pôles.

La suppression de trois disques entrainerait la suppression de trois bobines, ce qui rendrait disponible la moitié du fil employé, cette moitié pourrait être utilement répartie entre les trois électro-aimants.

Par cette suppression, on remplacerait donc les électro-aimants circulaires tridromes par des bidromes, qui, comme nous l'avons vu plus haut, sont, à égalité de conditions, bien plus puissants.

Le diamètre du moyeu pourrait être augmenté ; l'appareil n'en deviendrait pas plus lourd puisqu'on l'a allégé en lui enlevant trois disques sur neuf.

Digitized by Google

Enfin, les six disques restants, étant employés à la confection de trois électro-aimants à deux disques, il y aurait encore à prendre la disposition que voici, c'est d'enrouler les hélices de manière à ce que l'une quelconque d'entre elles ait toujours pour voisine, une hélice de sens contraire. La première étant lævogyre, par exemple, la seconde serait dextrogyre, tandis que la troisième serait de nouveau lævogyre. La raison de cet arrangement est facile à saisir, elle va à l'adresse du magnétisme rémanent, qui se trouve ainsi utilisé et qu'il est, dès lors, bon de ne pas anéantir.

Ces perfectionnements sont, comme on le voit, d'autant plus importants, qu'ils n'augmentent pas la dépense d'électricité, tandis qu'ils augmentent la puissance de la machine, simplifient celle-ci et même la rendent plus légère.

Il y aurait un moyen peu couteux et très-expéditif de vérifier les observations qui précèdent, et la machine telle qu'elle est pourrait servir dans ce but. Pour cela, il suffirait d'appliquer le courant de façon à donner à toutes les hélices la même polarité; on aurait ainsi trois dicnèmes à pôles épallèles (§ 152 et 153), ne différant des bidromes monocnèmes que nous proposons de substituer, que par un troisième disque placé entre les deux pôles, et coïncidant avec le point neutre.

L'effet utile de la machine serait certainement augmenté par ce simple changement qui ne manquerait pas d'amener la suppression du troisième disque dont l'inutilité peut être facilement démontrée au moyen de l'expérience que nous venons d'indiquer.

Digitized by Google

CHAPITRE XVII.

QUATRIÈME FAMILLE D'ELECTRO-AIMANTS CIRCULAIRES (PL. II).

Multidromes (disques en nombre indéfini).

Genres : 1° monocnème ;
2° dicnème ;
3° tricnème ;
4° osacnème ;
5° pléocnème.

Sous-genre : électro-aimants héliçoïdes.

§ 168. Les membres de cette famille n'ont de raison d'être qu'autant qu'ils sont destinés à agir sur plusieurs armatures. Armés d'une seule poulie qui touche à la fois tous les disques, ces aimants sont une superfétation et ne vaudront jamais un simple bidrome. Mais si, comme le cas peut se présenter, ils servent pour des machines dans lesquelles chaque disque doit fonctionner pour son compte, ils peuvent avoir de l'utilité ; il est vrai, qu'alors, le multidrome monocnème devient superflu.

Quoi qu'il en soit, la meilleure place à donner à l'hélice dans cette circonstance, est celle du milieu, c'est une position symétrique, laquelle permet, mieux que toute autre, de tirer parti de la puissance développée.

Digitized by Google

La manière dont les pôles se distribuent alors résulte de ce qui a été dit sur les électro-aimants circulaires à deux disques : le multidrome aura un pôle de chaque côté de l'hélice. Lui appliquer une armature dans le sens de la longueur c'est faire intervenir les deux pôles contraires et dans ce cas on rentre dans les bidromes.

DICNÈMES ET TRICNÈMES.

1° à pôles *épallèles ;*
2° à pôles *énallèles.*

OSACNÈMES.

1° *Unipolaire ;*
2° *multipolaire ;*

PLÉOCNÈMES.

1° à pôles *actifs ;*
2° à pôles *passifs.*

§ 169. Ce que nous avons dit des tridromes est encore applicable ici et nous dispense de traiter de chaque genre à part. L'osacnème et le pléocnème sont des exagérations du multidrome par excellence, celui dont toutes les gorges sont garnies d'hélices.

Ces hélices doivent être toutes de même sens, de manière à ce que tout l'électro-aimant soit divisé en deux moitiés magnétiques, l'une australe et l'autre boréale.

Il ne faudrait se départir de cette règle qu'autant que les circonstances l'exigeraient ; de ce nombre, pourrait

Digitized by Google

être la nécessité de faire agir une armature aimantée circulairement sur un multidrome para-circulaire.

§ 170. En recommandant d'employer des hélices de même sens, nous prônons évidemment ici ce que nous condamnons expressément chez les para-circulaires.

Il est facile de se rendre compte de la différence qui sépare, sous ce rapport, les deux familles ; on peut la formuler en deux mots, en disant que le mode d'aimantation n'est pas le même.

APPENDICE.

Sous-genre : *électro-aimants héliçoïdes.*

§ 171. Nous rattachons à la famille des électro-aimants circulaires multidromes, les aimants que l'on obtient en enroulant du fil conducteur dans le pas d'une vis en fer (fig. 17, pl. II).

La manière dont le fluide s'y partage rappelle l'électro-aimant rectiligne monocnème (fig. 10, planche 1), et cela doit être puisque dans l'un des cas comme dans l'autre, il n'y a qu'une hélice.

L'attitude des fantômes s'accorde pleinement avec cette opinion, la fig. 1 (pl. IV), de même que la fig. 5 (pl. V), offrent le même aspect. Dans les deux on voit les polarités antagonistes, nettement accusées par les courbes concentriques, se dirigeant d'une extrémité à l'autre.

Il y a donc la plus grande analogie entre l'électro-aimant héliçoïde et un rectiligne monocnème ; la même

Digitized by Google

ressemblance existe entre ceux-ci et le circulaire multidrome épallèle ; de sorte qu'en terminant par les électro-aimants en apparence les plus compliqués, nous sommes heureux de faire remarquer le peu de distance qui les sépare des électro-aimants les plus simples et les plus élémentaires.

Note sur les fantômes des électro-aimants circulaires (pl. V).

Le fantôme d'un disque d'électro-aimant circulaire est tout simplement celui de la fig. 11 (pl. IV).

Celui d'un bidrome (§ 138) revient à la fig. 3, de même que l'image fantasmatique d'un tridrome à point conséquent (§ 154 et 160) revient à celle du trifurqué de la fig. 4 (pl. IV).

Si néanmoins on a cru devoir reproduire ici les fantômes de ces électro-aimants circulaires, c'est parce qu'ils varient suivant que les hélices sont énallèles (fig. 3, pl. V), ou épallèles (fig. 4). Dans le premier cas, en effet, nous avons un point conséquent, dans le second un point neutre et les deux images sont alors entre elles comme leurs similaires, fig. 2 et fig. 1 de la pl. IV.

Il est à remarquer que les fantômes des électro-aimants circulaires ne sont pas aussi nettement terminés que les autres, évidemment parce que les surfaces polaires ne sont pas planes, mais convexes ; la même situation se présente dans la fig. 1 de la pl. IV, obtenue avec un barreau cylindrique.

Digitized by Google

Aussi, bien que les fig. 3 et 4 (pl. V) aient été produites avec le même noyau et les mêmes disques, il n'en est pas moins vrai que dans la fig. 4, c'est le pôle central qui paraît le plus long, tandis que dans la fig. 3, c'est le pôle central qui paraît être le plus court. Cet effet si différent dépend de la manière dont le fluide est réparti. Dans l'aimant de la fig. 3, il se trouve localisé sur le disque central (§ 154) tandis que dans celui de la fig. 4, il est réparti sur les deux cercles extérieurs.

La fig. 5 a été produite par l'électro-aimant héliçoïde que nous rattachons aux électro-aimants circulaires multidromes (§ 168). Il est facile de reconnaître l'analogie de ce fantôme avec celui de la fig 1 (pl. IV), engendrée par un électro-aimant rectiligne monocnème, car les courbes y sont de même ordre et s'y propagent dans le même sens.

Digitized by Google

CHAPITRE XVIII.

CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES.

§ 172. — Les phénomènes d'attraction dont nous venons d'exposer les lois, autant que le permet l'état actuel de la science, peuvent être interprétés sans peine pour peu que l'on ait soin de considérer à part chaque ordre de faits et de bien préciser les questions. Dussions-nous nous répéter, nous rappellerons que les lois qui régissent la puissance des électro-aimants, varient suivant que l'on opère :

Au contact ou à distance ;

Avec un pôle ou avec deux ;

Avec des pôles de même puissance ou de puissance différente ;

Avec des pôles de même nom ou de noms contraires.

Nous rappellerons que la position de l'hélice à l'égard des pôles est également importante à considérer et qu'il en est de même de la distance qui peut exister entre les pôles des électro-aimants autres que les rectilignes ou les unidromes.

Le moment est venu de remonter aux causes. Nous commencerons par l'influence exercée par l'allongement

Digitized by Google

des noyaux magnétiques ou l'augmentation de leur masse.

§ 173. — Nous avons vu que pour une intensité magnétique et pour une armature données, cet allongement influe en ce sens qu'il détermine d'abord une augmentation dans la puissance attractive tant au contact qu'à distance.

Qu'ensuite, il arrive un moment d'arrêt, passé lequel tout allongement nouveau ou, en général, toute augmentation de masse du côté de l'un des pôles, devient nuisible à la puissance du pôle opposé.

Qu'enfin, à partir de ce moment, la puissance attractive diminue sensiblement dans le même rapport suivant lequel elle avait primitivement augmenté (§ 40).

§ 174. Pour comprendre de quelle manière cette influence s'exerce, il faut se reporter aux §§ 17 et suiv. traitant des armatures. Alors que la ligne neutre se trouve exactement dans le milieu de l'électro-aimant rectiligne non armé (§ 36), elle se déplace lorsqu'on fait intervenir une armature de forme quelconque et le déplacement s'opère précisément vers le pôle intéressé. La ligne neutre étant ainsi rapprochée du point armé, le fluide s'accumule du même côté, par cela même qu'il est sollicité par l'armature. Mais en se déplaçant ainsi, le pôle boréal, par exemple, s'éloigne du pôle austral et rend la liberté à une certaine quantité de fluide austral que jusque là il avait tenu en respect.

Ce fluide austral s'ajoutera à celui qui est déjà déve-

Digitized by Google

loppé et déterminera ainsi, un accroissement de force.

Les choses continueront à se passer de la sorte tant que la limite ne sera pas franchie. Mais quand ce moment sera arrivé, et que, par l'addition d'une trop forte masse de fer à une extrémité, on aura déterminé l'abaissement de l'attraction à l'autre extrémité, la ligne neutre sera si fortement attirée vers le pôle ainsi sursaturé, qu'elle laissera derrière elle une sorte de vide que le fluide du pôle antinome s'empressera de remplir, bien entendu, au détriment de la puissance attractive de celui-ci.

Ainsi, dans la première phase de l'opération, il y a neutralisation d'un pôle, et par conséquent mise en liberté du fluide contraire, c'est la phase de l'accroissement de puissance.

Dans la deuxième phase, il y a sursaturation d'un pôle et, par conséquent, rebroussement du fluide contraire, c'est la phase du décroissement.

Ces deux phases sont naturellement reliées entre elles par le point d'arrêt qui est une sorte de phase de transition.

Voilà tout le secret de ces phénomènes curieux que, depuis la publication de mon travail, on a cherché à expliquer de diverses manières, voire même en faisant intervenir une sorte d'excitation particulière provenant de réactions extérieures, etc. Cependant, le fait n'est pas difficile à interpréter et il l'est très-clairement dans les quelques mots que, dans mon mémoire, je lui ai consacrés.

Digitized by Google

Au surplus, voici comment je m'exprime dans les *Annales de chimie et de physique*, t. XXXVII, p. 400 : « J'ai entrepris ces expériences plutôt pour l'acquit de ma conscience que pour vérifier l'influence que l'allongement d'un électro-aimant rectiligne peut exercer sur les poids portés ; car il m'a toujours semblé que cette influence est évidente *à priori, parce qu'en allongeant un barreau aimanté, on écarte les pôles de noms contraires qui le constituent et l'on diminue d'autant les effets de neutralisation que ces pôles peuvent exercer entre eux.* »

§ 175. Deux pôles trop rapprochés se nuisent donc réciproquement ; c'est pour cela que les aimants à points conséquents, aimants permanents ou aimants temporaires sont plus faibles que ceux qui sont dépourvus de ces points.

Mais d'où vient que le bifurqué à deux pôles antinomes et de même intensité (fer à cheval) ne soit pas régi par cette loi et que l'allongement de ses branches n'augmente pas sa puissance attractive ? L'explication ressort de ce qui vient d'être dit. Le point d'indifférence de cet électro-aimant est situé en *c* (fig. 16), c'est-à-dire, à égale distance des deux pôles ; vient-on à armer le pôle A, par exemple, le point neutre se déplacera pour se rapprocher de A, comme dans l'aimant rectiligne ; mais ce n'est pas seulement le pôle A qui sera armé, l'armature touchera également le pôle B, ce qui aura nécessairement pour effet de replacer la ligne neutre à sa position normale, attendu que les deux forces A et B sont égales et contraires.

Digitized by Google

La ligne neutre demeurant ainsi au repos, il n'y a pas de raison pour que A se renforce davantage que B. Le renforcement sera réciproque et le même de chaque côté.

Il en serait autrement si les pôles étaient d'intensité différente ou si, conservant leur isodynamie, ils étaient touchés, chacun, par une armature à part et de façon à ce qu'il n'y ait pas communication entre elles; on rentrerait alors dans les électro-aimants rectilignes, où le déplacement de la ligne neutre se fait en raison de la masse de l'armature employée.

§ 176. La ligne neutre se déplace donc toutes les fois que les deux pôles contraires sont sollicités par des forces inégales. Avec ce fait bien compris, on peut expliquer, sans effort, les différents phénomènes d'attraction au contact consignés dans les pages précédentes.

§ 177. Nous arrivons ainsi à traiter les points mentionnés aux nos 4 et 5 et à reconnaître de suite que s'il y a des bifurqués monocnèmes ou dicnèmes qui sont influencés par l'allongement de leurs branches polaires, c'est que leurs pôles ne sont pas de même intensité.

Nous en dirons autant des trifurqués et des électro-aimants para-circulaires. Si, d'un autre côté, il y a des bifurqués et même des trifurqués à pôles de même intensité qui soient influencés par l'allongement, c'est que ces pôles sont aussi de même nom, le fluide de nom contraire se trouvant accumulé dans la culasse. Ces électro-aimants ont alors autant de lignes neutres que

Digitized by Google

de branches induites. Chacune de ces branches constitue un électro-aimant rectiligne, de sorte que sous le rapport de leur action sur les armatures, les bifurqués, trifurqués ou multifurqués de cette espèce peuvent être considérés comme des associations de barreaux rectilignes réalisés par les pôles de même nom.

§ 178. Ces explications, toutes simples qu'elles puissent paraître laissent, en apparence, sans solution le fait signalé aux §§ 63 et 142 et concernant l'influence exercée sur la force portante par l'écart entre les branches polaires. Si l'allongement des branches est sans effet sur la force portante des bifurqués à pôles antinomes et isodynamiques, comment se fait-il que l'écartement qui, en définitive, n'est que le résultat d'un allongement, ait une action à tel point marquée que la force portante est tantôt diminuée et tantôt augmentée suivant que l'écart est plus ou moins grand?

Les résultats consignés aux §§ en question paraissent donc en contradiction manifeste avec tout ce que nous savons de l'attraction exercée au contact par les électro-aimants bifurqués.

Rappelons-nous cependant que, dans ces expériences il intervient une condition spéciale jusque-là négligée, c'est la proximité des pôles. Que ces pôles soient rapprochés comme dans un électro-aimant raccourci ou qu'ils le soient comme dans le bifurqué (fig. 28), il est évident que les fluides de noms contraires doivent réagir et se neutraliser plus ou moins; on s'y oppose en les

Digitized by Google

écartant ainsi qu'on le voit aux §§ 63 et 142. Cependant, cette augmentation ne va pas à l'infini ; nous avons vu qu'elle est bientôt suivie d'un point d'arrêt, puis d'une diminution progressive.

Les mêmes causes président à ce point d'arrêt et à la diminution qui en est la conséquence. Seulement, faut-il chercher maintenant dans l'armature ce que, jusque-là nous avons trouvé dans l'aimant lui-même ; car c'est, en définitive, à travers cet organe que la neutralisation s'opère. Plus les pôles sont rapprochés et plus l'armature pourra être courte, mais plus aussi, ils s'influenceront l'un l'autre. Un écart exagéré suppose, d'un autre coté, une armature très-longue, mais un allongement excessif de celle-ci produit les mêmes effets qu'une masse trop forte, savoir des effets d'affaiblissement très-réels (§ 17), qu'on s'explique d'après les §§ 174 et 175, avec cette différence qu'au mot aimant il faut substituer celui d'armature. Mais les résultats sont les mêmes et on peut dire de cet affaiblissement ce que nous avons dit de celui que l'on observe chez les électro-aimants rectilignes : subordonné à la puissance du courant et à l'intensité magnétique développée, il peut être corrigé par une intensité magnétique plus forte, intensité qu'on est libre d'augmenter soit en augmentant le diamètre des noyaux, soit en agrandissant la masse de l'armature, soit même en renforçant le courant.

§ 179. Il en est de la question des hélices comme de celle des noyaux, elle a été embrouillée parce qu'on

Digitized by Google

s'est trop empressé de généraliser, et parce qu'on n'a pas suffisamment tenu note des conditions dans lesquelles on a opéré. L'hélice doit-elle embrasser tout le noyau ; ou, doit-elle être accumulée autour des pôles? Les deux questions sont résolues affirmativement par des physiciens qui ont invoqué l'expérience, et le pour et le contre est soutenu avec une égale conviction, dans des ouvrages ou dans des mémoires qui ont paru non pas seulement il y a vingt ans, mais qui ont été publiés tout récemment, c'est à-dire, en 1858 ou 1859.

Nous avons vu aux §§ 39 et 53 que les uns et les autres ont à la fois tort et raison, attendu que chaque parti a entrevu un côté de la vérité ; il eût reconnu la vérité toute entière s'il eût maintenu ses conclusions dans les limites de ses essais. Cette vérité, la voici :

Les hélices doivent être accumulées autour des pôles dans les électro-aimants *rectilignes* ou dans ceux à deux pôles *d'intensité différente;* elles peuvent être réparties le long du noyau dans les électro-aimants qui fonctionnent par *deux pôles* de *même intensité* et *de noms contraires.*

Les électro-aimants qui rentrent dans le premier cas sont donc :

1° Ceux dont un seul pôle entre en jeu, par exemple les rectilignes ainsi que les para-circulaires et les circulaires unidromes.

2° Ceux qui agissent par deux pôles de même nom (§ 60), par exemple, les bifurqués dienèmes ; les trifur-

Digitized by Google

qués et les multifurqués *osacnèmes*, les para-circulaires dicnèmes et osacnèmes à pôles isonomes;

3° Ceux qui agissent par deux pôles contraires mais *d'intensité différente*, tels que les bifurqués monocnèmes (électro-aimant boiteux § 56), ou dicnèmes à pôles hétérodynamiques (fig. 24), les trifurqués monocnèmes ou dicnèmes, les multifurqués essocnèmes, ainsi que les correspondants dans la série para-circulaire.

§ 180. Lorsque l'hétérodynamie n'est que faiblement accusée, on rentre dans la loi qui régit les bifurqués à pôles antinomes et isodynamiques. Nous pouvons affirmer qu'il est même très-rare d'opérer sur des électro-aimants à pôles de même puissance. A moins d'essayer séparément les deux hélices et les deux pôles, et de s'attacher à donner même intensité à ceux-ci, on court le risque d'avoir des pôles de puissance inégale. Les fers à cheval usités dans les moteurs, dans les télégraphes et les horloges électriques sont dans ce cas.

Il n'est pas du tout nécessaire qu'il en soit autrement dans la pratique qui, sous ce rapport, est loin des exigences de la théorie.

§ 181. Quand on réfléchit aux faits qui viennent d'être exposés et aux lois qui régissent l'attraction des électro-aimants, on est frappé de l'analogie qui règne dans la manière dont cette force se manifeste dans ces diverses circonstances. Qu'on se rappelle ce qui a été dit au sujet de l'allongement des barreaux aimantés, de la place à donner aux hélices (notes A et B) pour obtenir le maxi-

Digitized by Google

mum d'effet : de la distance la plus convenable à établir entre les pôles des électro-aimants bi ou trifurqués, para-circulaires ou circulaires (§ 142), et on remarquera une conformité des plus frappantes dans les diverses phases de la puissance de ces aimants. L'accroissement de celle-ci n'est continu dans aucun cas ; constamment elle atteint un maximum rapidement suivi d'un décroissement dès qu'on cherche à dépasser cette limite.

§ 182. On peut s'attendre à retrouver cette loi dans toutes les circonstances qui régissent l'attraction ou la force portante des électro-aimants. Action à distance des bifurqués antinomes, action au contact des bifurqués isonomes, développement du magnétisme en rapport avec la section des barreaux, poids portés en rapport avec la masse, la longueur ou la section de l'armature ; ces questions, non encore approfondies, fournissent, avec beaucoup d'autres, un vaste programme de recherches à l'expérimentateur autant qu'aux esprits spéculatifs.

Digitized by Google

CHAPITRE XIX.

Classification des électro-aimants.

§ 183. Nous avons, dès le § 1, exposé les principes généraux de la classification dont nous allons présenter le tableau. Afin d'éviter, autant que possible, les néologismes, nous avons cru devoir conserver celles des expressions déjà usitées qui étaient compatibles avec les principes sur lesquels nous basons notre système. En maintenant ainsi des termes tels que *bifurqué, trifurqué, multifurqué*, si caractéristiques, et leur associant des adjectifs tels que *monocnème, poly ou pléocnème*, etc., nous encourons, il est vrai, le reproche d'associer des racines grecques à des mots dérivés du latin. Bien que ce reproche ne porte que sur la forme, il n'en est pas moins très-sérieux et nous nous le sommes fait dès l'origine. Mais il n'était pas possible de l'éviter, du moment qu'il fallait conserver des noms anciens, car le latin était loin de se prêter, aussi bien que le grec, à la confection de la nomenclature qui nous occupe.

§ 184. Pour garder au moins un certain ordre dans cette association des deux langues, nous avons recouru au latin pour les noms de famille et au grec pour la création des noms génériques et spécifiques. Puisque les diverses familles d'électro-aimants à branches empruntent leurs noms aux mots latins, *bifurcus, ou trifurcus*,

Digitized by Google

a, um, nous avons cru devoir en faire autant pour la nomenclature des familles d'électro-aimants à disques qui deviennent des *unidromes*, des *bi,* des *tri* ou des *multidromes,* de *dromos, course* et cependant il était facile de traduire ces mots par ceux non moins expressifs de *mono*, *bi, tri, polydromes* de δρόμος course.

Au reste dans ce genre d'études, il ne s'agit pas seulement des convenances de la grammaire ; l'oreille a aussi ses exigences et plus d'une classification a échoué parce qu'elle employait des expressions trop peu euphoniques. C'est ce qui nous serait arrivé, à coup sûr, si nous avions persisté à ne vouloir employer, que des expressions latines. Cependant ce n'est qu'à regret que nous avons renoncé à ce projet dans lequel la *bobine* était appelée, d'après son nom latin, *fusus, i.*

§ 185. Quoi qu'il en soit et quoi qu'il puisse advenir de ce premier essai de classification méthodique, le voici résumé sous forme de tableau. (Voir ci-contre).

On y voit que les électro-aimants actuellement possibles, comprennent :

12 familles;
38 genres;
1 sous-genre;
71 espèces;

et un grand nombre de variétés et de sous-variétés.

Ce tableau ne mentionne pas les formes par groupement dont il a été question plus haut, notamment aux §§ 53, 61, et 80, parce que ces formes rentrent tout naturellement dans l'un ou l'autre des genres spécifiés.

Digitized by Google

TRO-AIMANTS

2° E

{ isodynamiqu
{ hétérodynam

{ isodynamiqu
{ hétérodynam

nétérodynamiques

{ isodynamiqu
{ hétérodynam

{ isodynamiqu
{ hétérodynam

{ isodynamiqu
{ hétérodynam

{ isodynamiqu
{ hétérodynam

{ isodynamiqu
{ hétérodynam

{ isodynamiqu
{ hétérodynam

{ isodynamiqu
{ hétérodynam

{ isodynamiqu
{ hétérodynam

{ isodynamiqu
{ hétérodynam

{ isodynamiqu
{ hétérodynam

{ isodynamiqu
{ hétérodynam

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

§ 186. On voit par ce tableau que nous ne sommes plus au temps où l'arsenal électromagnétique ne se composait que de deux espèces d'électro-aimants, savoir le barreau aimanté (rectiligne) et le fer à cheval (bifurqué). La question a donc bien changé de face depuis dix ans et le moment était venu de mettre de l'ordre dans la variété de combinaisons que les dernières inventions ont rendu possibles et qui acquièrent de jour en jour plus d'importance.

Cette nécessité, que plus que personne nous avons été à même de reconnaître, justifiera, sans doute, l'essai de classification qui vient d'être tenté; elle fera, d'autant mieux, accueillir les néologismes qui y figurent, que beaucoup de ces électro-aimants n'ont à l'heure qu'il est aucun nom propre et ne peuvent être désignés que par des périphrases. On voit, d'ailleurs, que les mêmes noms spécifiques se reproduisent dans chaque genre et désignent la même manière d'être. On voit aussi que nous nous sommes attaché à conserver les noms usités et que nous n'avons sacrifié au grec que lorsque la langue française nous faisait défaut.

§ 187. Un nom, cependant, fait exception : c'est celui qui concerne le bifurqué que nous décrivons sous le nom de *monotnème à pôles hétérodynamiques* (§ 56) et qui a été, il y a quelque temps, baptisé du nom d'électro-aimant *boiteux* (1). Mais on n'est pas boiteux pour

(1) Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences (1857), T. XV, p. 252.

Digitized by Google

n'être chaussé que d'un pied et parce que cet aimant ne porte qu'une bobine, il ne laisse pas que d'être formé de deux branches de même longueur, ayant chacune à son extrémité un pôle spécial. C'est donc un électro-aimant bifurqué au même titre que celui connu depuis 1826, sous le nom de fer à cheval. Il en diffère néanmoins, par les propriétés exposées aux §§ 56 et 57. D'accord avec M. Dumoncel, nous reconnaissons que cet électro-aimant, dont nous avons étudié les propriétés en 1851 et qui rend aujourd'hui de grands services, mérite un nom spécial. Les exigences de la nomenclature qui précède voulant que ce nom soit en harmonie avec l'ensemble, nous l'appelons bifurqué *monocnème* (de μονος une, κνη-μις, ιδος, chaussure) et nous l'associons à plusieurs autres, ayant les mêmes propriétés et ne différant de lui que parce que l'hélice est plus ou moins éloignée des pôles au lieu de les entourer directement.

§ 188. La dénomination de *bifurqué*, *trifurqué*, etc., a été proposée par nous en 1852, dans le mémoire où nous faisions connaître les électro-aimants trifurqués. Cette nomenclature, fort simple, est très-apte à désigner le nombre de branches composant un électro-aimant et n'exclue pas les formes ou les combinaisons nouvelles qui pourront encore surgir; d'ailleurs elle a passé dans les principaux ouvrages, autre motif qui nous a décidé à la conserver.

§ 189. Si la famille est essentiellement déterminée par le nombre des branches, le genre prend sa source dans

Digitized by Google

le nombre des hélices, l'espèce dans la nature des pôles, et la variété, dans leur puissance relative. Dans le cours de cet exposé, on rencontre souvent l'expression *osacnème* (de ὁσάκις, autant de fois que) indiquant que l'aimant possède *autant* d'hélices que de branches.

Appliqué aux électro-aimants à disques, cette expression signifie nécessairement *autant* d'hélices que de disques, de même que ses complémentaires *pléocnème* (de πλεον, plus de) et *essocnème* (de ἧσσον, moins de), veulent dire l'une, *plus* d'hélices et l'autre, *moins* d'hélices que de disques.

§ 190. Les disques eux-mêmes sont désignés par la finale *drome*; nous avons ainsi des *unidromes*, des *bi*, des *tri* et des *multidromes*, et, en même temps il reste une place ouverte aux électro-aimants circulaires ou para-circulaires 4, 5..... n *dromes*, si jamais on en invente qui diffèrent des précédents autrement que par le nombre des disques.

§ 191. Ce n'est que dans ces familles que nous voyons intervenir la *pléocnémie*, toujours la même chez les électro-aimants circulaires, mais variable à l'infini chez les autres aimants à disques. Quoi qu'on puisse faire on n'imposera jamais aux premiers, plus de deux hélices en sus de celles qu'ils comptent naturellement; le maximum en sus est de une; ainsi l'électro-aimant circulaire tridrome pléocnème compte 4 hélices, le bidrome en compte trois et ainsi de suite.

Au reste, chez ces aimants les pléocnèmes n'ont pas

Digitized by Google

de raison d'être, tandis qu'ils offrent beaucoup d'intérêt chez les électro-aimants para-circulaires.

§ 192. Enfin, dans les différentes familles d'électro-aimants, nous ferons grand usage des expressions *épallèle* et *énallèle* qui signifient l'une, des pôles successifs ou sériés (επαλλελος, qui se succèdent) et l'autre des pôles alternatifs (εναλλαξ, alternativement), nous avons défini aux § 45 et 124 le sens qu'il faut attacher à ces expressions si bien faites selon nous, pour peindre l'une, l'accroissement régulier que l'on remarque dans certains électro-aimants en partant du point neutre pour remonter aux pôles, ou le décroissement lorsqu'on part des pôles pour descendre au point neutre. L'électro-aimant héliçoïde du § 168 fournit, à cet égard, un exemple frappant. Les exemples d'aimantation *énallèle* ou alternative, ne sont pas moins curieux, nous en avons vu un grand nombre, entre autres chez les rectilignes à points conséquents du § 45, chez les trifurqués, les multifurqués, les tridromes ainsi que les multidromes.

§ 193. Beaucoup de variétés d'électro-aimants sont fondées sur l'isodynamie des pôles ou sur leur hétérodynamie. Cette question si importante cependant, a été complétement négligée jusqu'ici. On a fait des recherches nombreuses sur les propriétés des électro-aimants, sur leur force portante et leur puissance attractive et l'on n'a pas songé à s'assurer, au préalable, de l'état dynamique des pôles. Or, comme, dans bien des cas, un bifurqué à pôles hétérodynamiques et de noms contrai-

Digitized by Google

res donnent, en général, des résultats autres qu'un bifurqué à pôles isodynamiques, on a mis sur le compte des erreurs d'observation, des divergences occasionnées par l'appareil même qui faisait l'objet de ces observations. Sans doute, ces divergences sont peu sensibles lorsque la différence qui sépare les intensités des deux pôles, est elle-même peu considérable, mais comme il serait difficile de dire à quel moment la différence devient manifeste, nous aimons mieux nous arrêter à une limite précise et circonscrite, telle que celle que nous avons choisie. Personne ne contestera, d'ailleurs, qu'entre le monocnème à pôles antinomes de la fig. 21, pl I, et celui de la fig. 20, il existe une différence profonde, bien qu'ils soient obtenus, l'un et l'autre, par les mêmes moyens. Il est donc tout naturel de faire de ces deux aimants deux variétés distinctes, appartenant l'une aux bifurqués monocnèmes à pôles antinomes et isodynamiques, l'autre à la même espèce mais à pôles hétérodynamiques.

§ 194. Malgré nos efforts pour simplifier cette nomenclature, il n'en est pas moins vrai qu'il peut se présenter telle combinaison électro-magnétique que l'on ne saurait désigner convenablement qu'à l'aide des trois ou quatre mots dont chacun exprimerait une qualité spéciale, à moins d'avoir à sa disposition un terme de convention. Qu'on appelle simplement, *fer à cheval*, l'électro-aimant bifurqué à deux pôles de même intensité et de noms contraires, rien de mieux, mais quel nom donner à cet autre

Digitized by Google

fer à cheval dont les pôles de même nom offrent une intensité différente? celui, en un mot, que nous décrivons sous le nom de bifurqué dicnème à pôles isonomes et hétérodynamiques?

Sur ce point, il faudra évidemment prendre son parti, et, à défaut de nom convenable qui résume le tout par un mot, accepter celui qui se compose du moins de mots possibles pourvu que ces mots soient suffisamment explicites. Je crois que ce programme est assez bien rempli par la nomenclature proposée. Elle est assez claire pour pouvoir, au besoin, servir de base à une écriture symbolique.

§ 195. Partant de la division des électro-aimants en électro-aimants à branches, et en électro-aimants à disques, on pourrait représenter les premiers par des traits et les autres par des cercles.

Les électro-aimants à une branche ou rectilignes auraient pour formule I.

Les électro-aimants à deux branches ou bifurqués II.

Les électro-aimants à trois branches ou trifurqués III.

Les électro-aimants à plus de trois branches ou multifurqués IV.

Les électro-aimants circulaires seraient représentés par un cercle.

Les électro-aimants para-circulaires le seraient par un cercle barré.

Digitized by Google

Je ne doute pas que les diverses combinaisons électro-magnétiques auront un jour une importance qu'elle ne peuvent avoir à l'heure qu'il est, d'autant moins que presque toutes font, ici même, leur entrée dans le monde. On trouvera donc tout simple que j'insiste sur la notation symbolique qui vient d'être ébauchée, et que je fasse voir qu'elle peut être rendue plus élémentaire encore. Dans ce système :

Les *électro-aimants* à branches sont représentés par B

— à disques par D

— circulaires par C

— para-circulaires par P

— rectilignes par B'

— bifurqués par B

— trifurqués par B^3

— multifurqués par B^m

— *circulaires* unidromes par C'

— — bidromes par C^2

— — tridromes par C^3

— — multidromes par C^m

— *para-circulaires* unidromes par P'

— — bidromes par P^2

— — tridromes par P^3

— — multidromes par P^m

Digitized by Google

§ 196. Le nombre des hélices pourra être indiqué par le moyen qui accuse le nombre des branches ou des disques ; un chiffre ou une lettre placée en exposant. Pour les distinguer des lettres ou des chiffres relatifs aux disques, on fera précéder d'un point ceux qui concernent les hélices : $B^{1\cdot 2}$ désignera le rectiligne *di* cnème et $B^{1\cdot p}$, le *poly* cnème correspondant. De même $B^{2\cdot 1}$, sera le *bi* furqué *mono* cnème ou électro-aimant boiteux, tandis que $B^{3\cdot 1}$, sera le *tri* furqué *mono* cnème, type de la famille, $B^{3\cdot o}$, qui se rapporte au trifurqué ayant *autant* d'hélices que de branches (osacnème) et $B^{m\cdot e}$, au multifurqué ayant *moins* d'hélices que de branches (essocnème § 103).

Même marche pour les électro-aimants circulaires : $C^{\cdot 1}$, est le tridrome à une hélice ; $C^{m\cdot 2}$ est le multidrome à 2 hélices. $P^{m\cdot o}$ est le para-circulaire multidrome osacnème, $P^{3\cdot 2}$ le para-circulaire tridrome à deux hélices et ainsi de suite.

Un *i* placé à la suite de ces lettres dira si la combinaison est isonome, un *a* si elle est antinome ; les pôles sont-ils isodynamiques on mettra un *d* ; sont-ils hétérodynamiques on mettra un *h*.

§ 193. La formule du fer à cheval ordinaire sera donc : $B^{2\cdot 2\cdot a\cdot d}$; [bifurqué à 2 hélices, à pôles de noms contraires (antinomes) et de même intensité, (*dynamiquement* égaux)].

Celle de l'électro-aimant circulaire à point conséquent (§ 151) : $C^{3\cdot 2\cdot en}$ [électro-aimant circulaire à *trois* disques, à *deux* hélices et à pôles *énallèles* (alternatifs)].

Digitized by Google

De l'électro-aimant para-circulaire à point conséquent: $P^{3.1.cn}$ [à *trois* disques, à *une* hélice et à pôles *énallèles*].

$C^{3.2.en}$ $P^{3.1.cn.}$ sera donc l'expression de l'engrenage magnétique que nous avons décrit au § 120. La première formule représentant la poulie de commande et la deuxième la poulie commandée.

On voit que ces formules sont faciles à comprendre et à manier. Pour les personnes qui en ont la clé, elles en disent autant qu'une page de description ; l'essentiel est de ne pas perdre de vue que le symbole B, C ou P indique la classe, que le chiffre placé immédiatement en exposant, indique la famille fondée sur le nombre des branches ou des disques, qu'après la famille vient le genre basé sur le nombre des hélices, puis l'espèce caractérisée par la nature des pôles, enfin la variété, déterminée par l'intensité de ceux-ci.

Cette notation est également applicable aux associations par groupement ; ainsi la combinaison de la fig. 19 sera formulée par $BB^{2.1.}$ (*bi* furqué double à *une* hélice et à pôles *isodynamiques*), et celle de la fig. 41 par $BB^{m.s}$. (*multi* furqué *double* à *trois* hélices *épallèles*).

§ 194. Avant de quitter ce chapitre, il nous reste à faire voir que le grand nombre d'électro-aimants que cette classification révèle, peut être ramené, sans effort, à un seul, au plus simple d'entre eux, l'électro-aimant rectiligne. Nous avons vu au § 48 comment il conduit aux bifurqués, et aux §§ 67 et 89, qu'il est le générateur des trifurqués et partant, des multifurqués. (Note G). Les

Digitized by Google

électro-aimants circulaires et para-circulaires en dérivent d'une manière non moins simple ; la preuve en est facile.

Soit un barreau aimanté ou rectiligne monocnème (fig. 8), ayant son pôle austral en A et le pôle boréal en B : si, sur chacun de ces pôles nous appliquons un disque en fer, de façon que son centre coïncide avec l'axe du barreau, nous aurons, purement et simplement, un électro-aimant circulaire à deux pôles de noms contraires (bidromes à pôles antinomes) tel qu'il est décrit au § 136.

Pour obtenir un tridrome ou à trois roues, on n'a qu'à rapporter entre les deux roues polaires une troisième roue de même diamètre et d'épaisseur quelconque, couper en deux la bobine, insérer une moitié dans chacune des deux gorges et établir la communication avec la pile.

La fig. 12, avec ses deux hélices, se prêterait facilement à cette opération.

Avec les noyaux des électro-aimants circulaires on peut faire des para-circulaires ainsi que nous l'avons vu. On peut encore obtenir ceux-ci théoriquement, en supposant des électro-aimants à branches, dont on aplatit les noyaux, pour ensuite les tailler en disques ; les propriétés magnétiques du point qui plongeait dans la bobine n'ont pas changé, pas plus que la nature du fluide développé ; la modification a porté sur le noyau qui a échangé sa forme cylindrique contre une forme discoïde.

Connaissant la génération des tridromes, il est facile

Digitized by Google

de passer à celle des multidromes qui, d'ailleurs, peuvent être considérés comme dérivant d'une association d'unidromes, de bi ou de tridromes, et auxquels on peut aussi assigner une origine analogue à celle des multifurqués (§ 89).

Digitized by Google

CHAPITRE XX.

ADHÉRENCE MAGNÉTIQUE (1) (PL. III.)

I

INTRODUCTION.

§ 159. La signification du mot adhérence (du latin *adhœrere*, être attaché à) est assez connue, et les Dictionnaires spéciaux se sont, depuis longtemps, chargés de le définir (2). Cependant on ne comprend pas généralement la valeur de cette expression lorsqu'elle est appliquée aux locomotives. C'est qu'alors on ne se rend pas bien compte des conditions qu'un pareil moteur doit remplir pour atteindre le but auquel on le destine. Car il ne suffit pas qu'une locomotive ait assez de vapeur pour produire l'effet désiré, il faut encore que les roues qui reçoivent l'impulsion de cette vapeur, et que

(1) Brevets d'invention, 9 août 1850 et 1851. — *Bulletin de la Société d'encouragement*, T. 51, p. 454 et 835 : T. 52 p. 252 et 312. *American Journal of science and arts*, vol XV, p. 106 et vol. XVI, p. 337. — *Polytechnisches Journal*, CXXIX, p. 413. Archives des sciences physiques et naturelles, *passim*.

(2) V. entre autre ce mot dans *Bouillet, Dictionnaire universel des sciences, des lettres et des arts.*

Digitized by Google

pour cela on appelle *roues motrices*, rencontrent en leur point de contact, un obstacle suffisant pour pouvoir s'y appuyer et ensuite se porter en avant avec la charge qu'elles doivent entraîner.

En ceci, elles ressemblent aux pieds du cheval. Attelez-le à une voiture et faites-le marcher sur la glace, vous savez ce qui arrive : le cheval glisse, en d'autres termes, il patine et ne parvient à avancer qu'à une condition, c'est d'être *ferré à glace*. Alors les pieds du cheval peuvent *mordre* et trouver sur le sol un point d'appui suffisant pour faire équilibre au véhicule à faire mouvoir ; le reste n'est plus qu'une question de force musculaire.

Or, dans la locomotive, les pieds du cheval sont représentés non pas par toutes les roues, mais par les roues motrices ainsi que par celles qui sont directement reliées à ces dernières et qui, en terme du métier, portent le nom de *roues couplées*.

Ne pensant pas qu'il pût y avoir entre une roue en fer et un rail de même métal une adhérence suffisante on a, à l'origine, cherché à y suppléer, en se servant de roues motrices, convenablement dentelées, qu'on faisait marcher sur une crémaillière. La locomotive pût, dès lors, remorquer les charges voulues, mais on comprend qu'il ne lui était pas possible de marcher vite.

L'emploi de crémaillières n'était donc qu'un palliatif. Le véritable remède était cependant sous la main. Il suffisait de se soustraire, un instant, aux idées dominantes et de savoir *oser*. C'est ce que fit M. Blakett

Digitized by Google

en 1813. Faisant marcher un train de roues en fer sur des rails, il remarqua une certaine adhérence qu'il rendit sensible en attachant aux roues un véhicule d'un poids déterminé. Il reconnut ensuite que cette adhérence augmentait avec la pression exercée sur l'essieu moteur ; en sorte qu'il suffisait de surcharger cet essieu pour pouvoir, en même temps, augmenter le convoi à entraîner.

Cette expérience a rendu possible la locomotion à grande vitesse qui a été inaugurée en 1829.

De nombreux essais ont permis d'établir que cette adhérence, produite par la pesanteur, est, en moyenne, le dixième de la charge qui repose sur l'essieu moteur et qui, en dernière analyse, est supportée par le point de contact des roues.

Elle est d'un cinquième par un temps sec et beau ; elle est d'un quinzième par le brouillard ou le verglas. Ces météores interposent des matières étrangères entre les roues et les rails, les lubréfient en quelque sorte comme le fait le verglas, et diminuent par cela même le frottement (§ 98.)

Aussi au démarrage, c'est-à-dire, au départ d'un convoi, n'est-il pas rare de voir les roues motrices tourner d'abord avec fracas, sans que le convoi soit le moins du monde ébranlé.

C'est ce qu'on appelle « le patinage des roues » ; « les roues *patinent* faute d'adhérence. »

§ 196. Dans ce qui précède, nous supposons la loco-

Digitized by Google

motive installée avec son convoi, sur palier, c'est-à-dire, sur une voie parfaitement horizontale.

Il n'est pas difficile de comprendre que les choses changeront sur plan incliné. Sur une rampe à gravir, le convoi à remorquer, obéissant à la pesanteur qui le sollicite, tend à descendre.

Dans cette situation, il faut donc une augmentation de force et une augmentation d'adhérence.

Mais cette dernière, étant elle-même produite par la pesanteur, subira une diminution correspondante à l'inclinaison de la rampe; car la pression causée par les corps pesants ne s'exerce pas normalement au plan de fer, mais elle se dirige suivant la verticale du fil à plomb sans aucun égard pour le degré de pente du plan incliné que le convoi doit gravir.

§ 197. Dans la construction d'une locomotive, il faut donc tenir grand compte de ces circonstances, et, en tout cas, donner à la locomotive une adhérence maximum.

Cette adhérence maximum demande une pression maximum, et, par conséquent, une locomotive très-lourde.

Mais plus une locomotive est pesante, plus les rails doivent l'être afin de n'être pas écrasés du premier coup.

Forcé ainsi de subir la loi de circonstances purement éventuelles et qui ne sont pas la règle, le constructeur est obligé de compliquer à la fois tout le matériel, et,

Digitized by Google

par suite de rendre l'exploitation de la ligne bien plus coûteuse.

§ 198. Cet aperçu très-superficiel, des avantages et des inconvénients offerts par l'adhérence produite par les poids suffira pour faire comprendre le but des recherches dont l'exposé va suivre.

Réduite à sa plus simple expression, l'adhérence actuellement usitée, est donc due à une *pression* exercée sur le point de contact des roues. A la demande si la *pression par les poids* a seule le privilége de produire de l'adhérence, la réponse peut être faite, *à priori*. Toute espèce de pression doit pouvoir en produire, et si cette pression s'exerce toujours normalement au plan de fer, il est clair aussi que l'adhérence qui en résulte, sera la même sur palier que sur plan incliné.

§ 199. Nous voilà donc conduit, tout droit, à l'*adhérence magnétique*, mot qui, en 1850, était aussi nouveau que le fait qu'il exprime.

Cette adhérence est le résultat d'une pression qui s'exerce toujours normalement au rail, attendu que l'attraction magnétique se règle sur la position de l'armature et non pas sur la direction de la pesanteur.

Le chiffre qui l'exprime sera le même aux diverses inclinaisons de la rampe, 1,000 kilogrammes d'adhérence magnétique sur plan horizontal resteront 1,000 kilogrammes sur une pente quelconque; de même qu'un électro-aimant capable d'une force portante de 1,000 kilogrammes, conservera cette force aussi bien quand

Digitized by Google

ses pôles sont placés de haut en bas que quand ils sont dirigés de bas en haut.

Elle peut être développée de manière à être exclusivement appliquée au point de contact des roues et à ne peser en aucune façon sur les essieux moteurs. Comme elle est indépendante de la position des rails ou de leur direction, elle permet d'admettre la possibilité de construire des locomotives suffisamment puissantes, mais bien plus légères que celles qui servent dans l'exploitation actuelle.

§ 200. Des locomotives pareilles amèneraient des améliorations de plus d'un genre. Ainsi elles permettraient d'apporter une grande économie, non-seulement dans la construction des chemins de fer, mais encore dans leur exploitation, et elles rendraient possible la création de chemins de fer vicinaux, même dans des pays de montagne.

Avec une locomotive plus légère on pourrait, en effet :

1° Construire des voies ferrées avec des rails plus légers, et, par conséquent, beaucoup moins coûteux ;

2° Adopter des pentes plus fortes et éviter, par conséquent, des travaux d'arts dispendieux ;

3° Mieux utiliser la vapeur de la locomotive, en supprimant le patinage des roues au moment du départ ;

4° Eviter les retards ou les arrêts causés par le manque d'adhérence et par conséquent prévenir les accidents qui peuvent en être la suite ;

5° Diminuer, en général, les chances de déraillement,

Digitized by Google

car la cause qui produit l'adhérence est appliquée au point de contact des roues, ce qui abaisse considérablement le centre de gravité de la locomotive.

Par la manière dont cette adhérence est produite, on peut arriver à un résultat irréalisable avec tout autre système, savoir : de supprimer l'adhérence là où elle est superflue, de la provoquer, au contraire, là où elle est nécessaire, et de la proportionner enfin, à la charge à équilibrer ou aux obstacles à franchir.

Toutes ces opérations ne demanderaient que la peine d'établir ou d'interrompre la communication électrique de la manière dont cela se pratique au télégraphe.

§ 201. L'occasion de ces recherches m'a été fournie par feu M. Amberger, de Thann (Haut-Rhin), de son vivant, mécanicien à Paris. Ne trouvant pas dans les ouvrages spéciaux les moyens qu'il cherchait pour perfectionner l'adhérence, il songea à faire appel aux sciences physiques et vint me consulter de la part d'un ami commun, M. Cassal. A cette question, si la chimie ou la physique ne pourraient pas fournir un agent capable de provoquer l'adhérence des roues sans qu'il fût nécessaire de surcharger celles-ci, j'eus, tout naturellement, l'idée de recourir à l'attraction magnétique et de remplacer ainsi la pression que produit la pesanteur, par une pression équivalente essentiellement appliquée au point de contact des roues motrices, et agissant toujours normalement au plan des rails.

Mais si l'idée était prompte à se produire, il n'en était

Digitized by Google

pas de même du moyen de la vérifier d'abord et de l'appliquer ensuite. La science d'alors se taisait complétement sur la possibilité d'aimanter une roue en mouvement, et si, grâce à ce qui a été exposé dans les précédents chapitres, la chose est aujourd'hui facile, il n'en est pas moins vrai qu'il y avait, au début, de quoi être fort embarrassé. (Note H.)

II.

ADHÉRENCE PRODUITE PAR L'ACTION A DISTANCE.

§ 201. Le premier essai fut fait avec un électro-aimant agissant à distance sur les rails. C'était, sans contredit, la marche la plus rationnelle ; car en rayonnant sur la voie ferrée *qui est fixe,* l'électro-aimant, mobile avec le véhicule qui le porte, subit une attraction vers la voie, attraction qui se transmet nécessairement à l'objet auquel il est appliqué, l'*essieu moteur,* qui en éprouvera une pression comparable à celle exercée par les surcharges.

Cette expérience, qui a réussi du premier coup, est figurée par le croquis de la pl. III, fig. 2. L'appareil a été exécuté par M. Amberger. Il consiste en un châssis en fer *F* marchant sur quatre roues couplées, auxquelles on transmettait un mouvement de rotation, à l'aide d'un poids déterminé P, qui agissait sur les roues à la manière de la vapeur. Un autre poids R, fixé à l'extrémité du chariot au moyen d'une corde, représentait la résistance, c'est-à-dire, le train à entraîner.

Digitized by Google

Ce chariot était placé sur un chemin de fer C dont on pouvait faire varier la pente. Il portait, en *o*, un fer à cheval E placé à cheval sur la voie, de manière que ses pôles fussent séparés de toute la distance qui sépare les rails.

Cet électro-aimant, dont la fig. 2 ne représente qu'une branche, était formé d'une tige en fer de 1 centimètre de section recourbée en fer à cheval et garnie, à chacun de ses pôles, de fil de cuivre de 1 millimètre d'épaisseur formant environ deux cent cinquante tours de spire par branche. Les pôles de cet aimant étaient à 4 millimètres du rail sur lequel ils devaient agir.

La pile consistait en deux éléments *Bunsen* de grandeur ordinaire.

La première expérience fut faite sur une pente de 80 millimètres. Le chariot étant installé sur la rampe, et le poids moteur P étant abandonné à lui-même, ce poids, obéissant à la pesanteur, tomba rapidement, ce qui ne pouvait se faire qu'à la condition d'imprimer un mouvement de rotation aux roues sur les axes desquelles on avait enroulé le cordon qui soutenait P. Sous l'impulsion de ce poids, le chariot tendait à franchir la rampe, et il la franchissait en effet, toutes les fois qu'on supprimait la charge R, car, s'il avait assez d'adhérence pour transporter son poids, il n'en avait plus assez pour faire équilibre à la résistance exercée par R et représentant le convoi à entraîner.

L'adjonction de l'électro-aimant avait précisément

Digitized by Google

pour but de donner aux roues motrices ce supplément d'adhérence, et, en effet, quand on fermait le circuit galvanique, le chariot franchissait la rampe sans difficulté ; il s'arrêtait, au contraire, quand on interrompait la communication, pour partir de nouveau dès qu'on venait à rétablir le courant.

Le poids R remorqué dans cette expérience, était de 2 kilogrammes.

Le poids moteur P valait 6 kilogrammes.

Le chariot en pesait 4.

La fig. 2, pl. III, représente l'appareil au septième de grandeur d'exécution.

Toute modeste que fût cette expérience, elle donnait une démonstration encourageante pour moi, et qui parut pleine d'avenir aux yeux d'un ingénieur éminent, M. Bazaine, à qui nous en fîmes la confidence, et qui nous mit, promptement, à même de continuer nos recherches.

§ 202. Le procédé eût été, certes bien simple, si, pour réussir en grand, il n'eût réclamé qu'un électro-aimant placé de chaque côté des roues motrices ; mais ce projet ne résistait pas même aux considérations les plus élémentaires. L'attraction magnétique, décroissant comme le carré de la distance augmente (§ 23), et de plus, l'adhérence produite dans ces conditions n'étant, en moyenne, que le dixième de la puissance déployée par les aimants à la distance de 4 millimètres, il fallait pouvoir compter sur des électro-aimants impossibles à réaliser, même avec le secours des batteries les plus considérables.

Digitized by Google

Je ne rapporte donc cet essai que comme une expérience de cours, simple, intéressante et qui permet d'établir un rapport de plus entre l'attraction magnétique et celle dite *de gravité*.

III

ADHÉRENCE PAR L'ATTRACTION AU CONTACT.

Aimantation para-ciculaire.

§ 203. Il n'y avait donc d'autre solution possible que l'aimantation du point de contact. Après bien des tâtonnements et bien des essais, nous nous arrêtâmes à un procédé fort simple et qui a eu le mérite de donner en grand, des résultats plus que suffisants pour démontrer la viabilité de l'idée.

Ce procédé, point de départ de l'aimantation para-circulaire, consiste à aimanter le bas des roues motrices à l'aide d'une hélice fixe H (fig. 3, 4 et 5, pl. III) dont la paroi intérieure embrasse la jante de la roue, sans toutefois la toucher; la roue peut donc se mouvoir, dans cette hélice, sans éprouver de frottement. Sous l'influence de l'action magnétique de l'hélice, elle prend les deux fluides, l'un boréal, par exemple, comprenant toute la portion de la roue qui se trouve au-dessus de l'hélice; l'autre austral, animant la portion inférieure de la roue; et, comme l'hélice est placée le plus près possible du point de contact, cette portion de la jante doit être plus fortement aimantée que la partie supé-

Digitized by Google

rieure, le fluide austral étant concentré dans un plus petit espace (§ 38).

L'appareil représenté par la fig. 3, permet de vérifier ces différents effets ; le treuil T est destiné à recevoir la corde qui est enroulée sur l'essieu moteur E (fig. 5), et qui représente la force motrice.

On augmente la charge R jusqu'à ce que les roues soient amenées au patinage, puis, quand l'appareil ne démarre plus, on fait passer le courant ; immédiatement, le chariot monte et entraîne la charge, il redescend si on rompt le circuit, remonte de nouveau dès qu'on rétablit la communication électrique et continue ce jeu tant qu'il reste de la corde pour le mettre en mouvement.

Les figures 3, 4 et 5, représentent le chariot sous ses divers aspects. H et H' sont les hélices qui servent à aimanter les roues motrices ; elles se composent de boîtes en laiton contenant chacune 8 mètres de fil de cuivre de $0^m,0011$ de section distribué en 77 tours de spire, soit 16 mètres et 154 tours de spire pour les deux. F est un électro-aimant tenu en suspension à l'aide du ressort *r*. Cet appareil s'abaisse sur le rail lorsqu'on le place dans le circuit, et ralentit la marche du véhicule ou l'interrompt complétement selon la puissance de l'aimant, bi ou trifurqué employé et qui, dans cette circonstance remplit l'office de *frein* (§ 73) ; il n'a, du reste, rien de commun avec les deux hélices des roues. La corde qui tient la charge R est fixée en n (fig. 5) et passe par dessus la

Digitized by Google

poulie X (fig. 3). V représente un couple voltaïque ; C, le chemin de fer, installé sur des pieds qui permettent de faire varier la pente.

L'expérience suivante établit à peu près les rapports qui existent entre les deux adhérences en jeu dans cet appareil et entre les pressions qui produisent ces adhérences.

Poids du chariot, 5 kilogrammes ;

Pente, 190 millimètres par mètre ; un élément de pile à charbon de cornue à gaz ;

Courant total : tangente, 35° 10′ ;

Courant réduit par les bobines : tangente, 18° 25′.

CHARGE NÉCESSAIRE POUR FAIRE GLISSER.		SOMME des adhérences.	SURCHARGE nécessaire pour remplacer l'adhérence magnétique.
Adhérence ordinaire.	Adhérence magnétique.		
5k,500	5k,100	10k,600	3k,500

Les deux roues motrices du chariot étaient fixées contre les rails par une puissance magnétique de 3 kilog. 500 gr. ; cette attraction a été mesurée à l'aide d'un dynamomètre avec lequel on a détaché le chariot dans un sens perpendiculaire au plan de la voie ferrée.

Ces 3 kil. 500 de pression magnétique, ont donc produit une adhérence capable de faire équilibre à un convoi

Digitized by Google

du poids de 5 kil. et sur une pente de 19 centimètres par mètre. En maintenant, d'une part, cette adhérence et en surchargeant l'essieu moteur d'une masse de fer du poids de 3 kil. 500, on obtint un peu plus de 10 kil. d'adhérence totale.

Ce qui prouve qu'il y a entre l'adhérence magnétique ou frottement de roulement et la pression qui la produit, le même rapport que celui qui existe entre l'adhérence ordinaire et la surcharge qui en est la cause.

Pour nous rapprocher de la grande pratique autant que le permettaient les conditions dans lesquelles nous étions placés, nous opérâmes ensuite sur des roues de wagons marchant sur des rails de chemins de fer. Les résultats obtenus dans cette circonstance étaient fort encourageants; ce sont ces résultats, ainsi que le procédé qui les avait fournis, que je fis connaître dans une note présentée à l'Académie des sciences en mon nom et en celui de mes associés (*Comptes rendus de l'académie des sciences, année 1851*). (Note H.)

§ 204. Ces deux expériences mettent donc hors de toute contestation, la possibilité de convertir l'attraction magnétique en adhérence. La démonstration théorique étant donnée, restait à la répéter à une échelle suffisante pour préparer la solution pratique. Car, je ne me le dissimulai pas, on pouvait reprocher à mes essais d'être conçus dans des proportions trop minimes pour obtenir, du premier coup, avec un convoi entier, tous les effets que nous avions constatés avec le petit appareil.

Digitized by Google

Ces expériences promettaient pour l'avenir ; mais bien des personnes pouvaient douter qu'on disposât, pour le présent, d'une source magnétique assez énergique pour donner à des roues de locomotives un degré suffisant d'aimantation. Ce doute ne pouvait être levé dans le laboratoire ; il exigeait évidemment une expérience en grand.

IV

EXPÉRIENCE DU CHEMIN DE FER DE LYON.

Le concours que l'administration des travaux publics m'accorda sur l'initiative de M. Sauvage m'a mis à même d'opérer sur un chemin de fer ; c'était la ligne de Lyon, dont M. Sauvage était ingénieur en chef. La locomotive qu'on mit à ma disposition était une machine du poids de 28 à 30 tonnes, à quatre roues couplées. On voulait que j'opérasse sur ces quatre roues, mais ce désir ne put être exécuté, attendu que, par le seul fait du couplement des roues, la machine avait plus d'adhérence que de puissance ; l'application du magnétisme n'aurait donc rien prouvé, à peine aurait-on pu en reconnaître les effets : force me fut donc de découpler la machine et de n'opérer que sur deux roues.

Les conditions nouvelles dans lesquelles je me trouvais placé me suscitèrent des obstacles inattendus. La pratique impose, en effet, des limites que les recherches purement scientifiques ne connaissent pas. Tel procédé

Digitized by Google

ou tel artifice, exécutable dans le laboratoire, devient impossible sur une machine roulante.

La nature de cette application posait, entre autres, des bornes :

Aux dimensions des éléments de la pile,

A leur nombre,

Au développement du fil conducteur,

A sa section.

La bobine devait être placée à une certaine distance du rail ; elle réclamait des parois très-résistantes, et, par suite, très-épaisses. La roue devait pouvoir y tourner sans frottement... etc., etc.

§ 205. Ces difficultés jointes à celles que suscitaient les contradictions qui régnaient alors au sujet des hélices d'aimantation — et qui ne sont pas encore tout à fait aplanies à l'heure qu'il est — les exigences d'une installation pratique et les conditions précaires dans lesquelles j'étais placé compliquaient le problème d'une série de facteurs que je suis parvenu à faire accorder assez bien pour que la résistance de la pile fût équilibrée par celle du fil conducteur sans que cependant la pile ou l'hélice eussent réclamé un développement trop considérable. Le fil avait $4^{mm},5$ de section, et offrait un développement total de 1,036 mètres ; chaque hélice en reçut 518, formant 216 tours de spire.

La pile consistait en 64 éléments Bunsen avec charbon de cornue à l'intérieur : la surface du charbon dans chaque élément était de $0^{m},911$; celle du zinc immergé, de

Digitized by Google

0m,9148. Ces 64 éléments étaient répartis dans huit caisses, tapissées en gutta-percha, ayant chacune huit compartiments ; le tout fut logé derrière le tender.

Dans cette position la pile ne gênait pas le service, et son volume disparaissait entièrement dans l'ensemble du convoi.

Disposée en tension ou accouplée en quantité par séries de 32 éléments à surface double, cette batterie produisit les mêmes résultats toutes les fois que l'on donnait au courant une direction équivalente. Ainsi, dans le cas de l'arrangement en tension, on obtenait un courant unique et les bobines faisaient suite l'une à l'autre ; la longueur de fil à parcourir était donc de 1036 mètres ; dans la disposition en quantité, le courant se divisait en arrivant sous la machine pour aller former un courant distinct dans chaque hélice, de sorte que la longueur à parcourir n'était plus que de 518 mètres d'un fil de 9 millimètres d'épaisseur (épaisseur double de celle (4m,5) du fil employé.)

Ces diverses dispositions ont pu être facilement prises au moyen de deux conducteurs en gros fil de cuivre, établis ainsi qu'il va être dit.

En présence de l'excessive conductibilité des matériaux qui entrent dans la construction d'une locomotive et des chocs ainsi que des vibrations qui s'y produisent incessamment, il y avait à prendre bien des précautions pour éviter les fuites.

Voici comment furent établis les conducteurs et les bobines :

Digitized by Google

Les premiers étaient logés dans des tubes en gutta-percha, eux-mêmes entourés d'une peau chamoisée, imprégnée de vernis partout où ces tubes devaient directement appuyer sur le fer. Arrivés au point de jonction du tender avec la machine, ces conducteurs venaient s'adapter aux conducteurs fixés à la locomotive et se bifurquer avec eux, de manière à éviter les ruptures que les oscillations des véhicules en marche auraient pu produire. De là, ils longeaient le côté gauche de la locomotive, pénétraient sous la machine entre le foyer et l'une des roues motrices, et se continuaient ensuite parallèlement à la machine jusqu'à moitié chemin des bobines.

Solidement fixés aux points d'attache qui se présentent en grand nombre sous la machine, ces conducteurs avaient été dénudés dans les parties qui devaient recevoir les extrémités des fils émanant des bobines. Ces dernières étaient suspendues aux boites à graisse au moyen de forts tirants et d'un cadre en fer.

Tout étant disposé, l'un des conducteurs est continu d'une extrémité à l'autre; l'autre conducteur, au contraire, présente une solution de continuité produite par le commutateur. C'est que, arrivé près du coffre en fer qui se trouve sur le devant du tender et à hauteur d'appui, ce conducteur s'écarte de la ligne qu'il avait suivie jusque là et vient s'adapter, par des rivures, à l'extrémité d'une plaque en cuivre platiné solidement fixée au coffre et soigneusement isolée. L'autre côté de la plaque de communication est destiné à recevoir l'extrémité du conduc-

Digitized by Google

teur interrompu, qui touche à l'un des pôles de la pile.

Cette partie du conducteur a été suffisamment aplatie pour présenter une surface convenable; un ressort la tient écartée de la plaque, et dans cet état le circuit est ouvert; mais s'agit-il de fermer le circuit, il suffit de tourner une simple manivelle qui appuie sur le conducteur et l'abaisse sur la plaque de communication. On rouvre le circuit par un mouvement en sens contraire; le ressort se dégage, reprend sa tension et relève le conducteur.

La nature du pôle magnétique en contact avec le rail ne m'a pas paru influer sensiblement sur l'adhérence; du moins, les éléments d'appréciation dont je pouvais disposer, ne me permirent pas de saisir de différence, quoique, dans les fers à cheval ordinaires, la polarité contraire des points de contact soit essentielle, même lorsque chaque pôle agit sur une armature spéciale.

Quand on introduisait les deux bobines dans le circuit, on pouvait remarquer un rayonnement magnétique qui se manifestait à une assez grande distance, si bien qu'à 5 mètres des roues et dans le plan des bobines on pouvait encore aimanter de petits morceaux de fer.

Le résultat des expériences qui ont été faites avec l'appareil que je viens de décrire a été consigné dans un Rapport déposé au ministère des travaux publics, et dressé par une commission que le Ministre avait, spontanément, instituée à cet effet. Les nombres qui suivent sont empruntés à ce document.

Digitized by Google

L'essai d'application a été fait sur une rampe de 10 millimètres par mètre.

Les éléments de la machine qui a servi dans ces expériences sont les suivants :

Diamètre des pistons	$0^m,400$
Course des pistons.	$0^m,600$
Diamètre des roues motrices. .	$1^m,600$
Surface de chauffe du foyer. . .	$779^m,600$
Id. id. des tubes. .	$7^m,860$

Poids de la machine chargée d'eau et de coke, 29 tonnes ;

Charge sur les rails pour les roues motrices, 14 tonnes ;

Timbre de la chaudière, 6 atmosphères.

Poids du convoi entier, 119 tonnes environ.

Avant de commencer l'expérience, on poussa la vapeur à 9 atmosphères, afin d'établir entre la résistance du convoi et la puissance de la chaudière un rapport tel, qu'au démarrage, les roues patinassent franchement, même lorsqu'elles se trouvaient sous l'influence du courant.

Pour déterminer le surcroit d'adhérence que le fluide magnétique avait communiqué aux roues motrices, on eut recours au manomètre qui indiquait par quarts d'atmosphère la variation de la pression, celle-ci tombant rapidement de 8 ou 9 atmosphères à 6, à mesure que la vapeur, accumulée dans la chaudière, se dépensait dans les cylindres ; on observa ainsi la limite de pression

Digitized by Google

à laquelle la locomotive, marchant à petite vitesse, cessait de patiner.

Les différences de pression absolue ont été de 7 atmosphères à 6,5 de 7,5, à 7 ; de 7,75 et 8,25 à 7,5.

En prenant, dit le rapport, les termes moyens de 7 atmosphères 5, 7,05, et en comparant cette différence à la pression effective de 6 atmosphères, qui représente la puissance à la circonférence de la roue et la résistance qu'elle égalait au moment où le patinage avait lieu, on trouve que l'aimantation a produit une augmentation d'adhérence de 8,3 pour 100, ou un douzième ; résultat certainement très-satisfaisant pour un premier essai.

La possibilité d'augmenter l'adhérence des locomotives au moyen d'une pression déterminée par l'attraction magnétique est donc un fait démontré à l'échelle normale, c'est-à-dire, avec de véritables roues motrices et des rails ordinaires.

§ 206. Nous ne quitterons pas ces expériences sans parler de quelques observations auxquelles elles ont donné lieu.

Le déplacement de pôle dont nous avons parlé au § 106 a été surtout bien constaté sur les grandes roues motrices de la locomotive. L'observation en était facilitée d'une part, par la grande masse de fer en présence et d'autre part par sa nature. Ce métal, en effet, était très-aciéreux et possédait, par conséquent, une force coërcitive considérable. Aussi, après l'interruption du courant, le point de contact et la région avoisinante conservaient

Digitized by Google

une polarité assez forte pour retenir de petits morceaux de fer.

Rien de tout cela ne serait arrivé, si le bandage avait été en fer doux, car dans ces conditions, le déplacement de pôle ne se fait sentir qu'en présence d'une grande vitesse.

Dans le tableau ci-après se trouve consignée : 1° la force portante du point de contact de la roue au repos ; 2° cette même force pendant le mouvement de 30 et de 60 tours par minute correspondant à 9 et à 18 kilomètres à l'heure. Ces forces portantes sont inscrites sous le titre : « Pression due à l'aimantion. »

EN TOURS par minute.	EN KILOMÈTRES à l'heure.	PRESSION DUE à l'aimantation.	RAPPORT de la pression additionnelle à la pression ordinaire supportée par le rail.
0	0	639 kilog.	12,8 à 10. 6 0/0
30	9	257	5,1 à 4. 3 »
60	18	165	3,3 à 2. 7 »

Dans cette expérience, les roues ne posaient pas sur le rail comme elles le font dans les conditions ordinaires : au moyen de leurs boites à graisse renversées, elles étaient fixées sur un cadre en charpente qui leur servait de support ; deux poulies en bois étaient montées sur

Digitized by Google

l'essieu moteur ; ces poulies, en rapport avec l'arbre de transmission de l'atelier du chemin de fer de Lyon, étaient calculées de manière à fournir les deux vitesses de rotation qui sont consignées dans le tableau. Pour déterminer la puissance attractive du point de contact, on eut recours à la méthode des poids portés qui fut appliquée de la manière suivante :

Le rail placé au-dessous de chaque roue était mobile à l'une de ses extrémités autour d'un boulon d'articulation, et portait, à l'autre extrémité, une caisse en zinc destinée à recevoir la charge nécessaire pour détacher le rail de la roue, lorsqu'il s'y trouvait suspendu par l'effet de l'aimantation ; un réservoir d'eau, divisé en litres, pouvait, au moyen d'un robinet et de deux rigoles inclinées, verser dans chaque caisse l'eau nécessaire pour déterminer la rupture.

Connaissant la longueur du rail, son poids, celui de la caisse en zinc et la quantité d'eau débitée par le réservoir, on pouvait, par un simple calcul, déterminer la charge soutenue par le point de contact et, par suite, la pression due à l'aimantation.

Une série de déterminations ainsi faites ont montré que cette pression correspond à environ 650 kilogrammes par roue, soit 1,300 kilogrammes par paire de roues.

Un coup-d'œil jeté sur le tableau fait voir que cette attraction décroissait rapidement pendant le mouvement. Nous demanderions ce qu'est devenu le magnétisme disparu, si déjà nous ne le savions par ce qui précède.

Digitized by Google

Quoi qu'il en soit, voici une expérience qui complète la précédente et qui confirme ce qui a été dit plus haut sur le déplacement des pôles.

Cette expérience a été faite avec l'installation que nous venons de décrire.

Le rail reposant, par son extrémité libre, sur un tasseau en bois et se trouvant séparé par un intervalle de $0^m,017$, on a promené une petite boussole de déclinaison, placée à $0^m,75$ environ du rail, le long de celui-ci, de manière à déterminer les points où sa direction était sensiblement perpendiculaire au plan de la roue.

Lorsque la roue était au repos, l'aiguille ne prenait la position normale aux rails que lorsqu'elle se trouvait dans le plan vertical passant par l'essieu, et par conséquent par le point de contact de la roue; lorsque la roue était, au contraire, en mouvement, il fallait déplacer l'aiguille, en la reportant vers l'arrière (par rapport au sens du mouvement de la roue), pour retrouver la direction normale aux rails. Ce déplacement à été de $0^m,33$ et de $0^m,39$ pour des vitesses correspondantes à une marche de 18 et de 36 kilomètres à l'heure.

Nous répétons que ces perturbations ont eu pour cause l'état aciéreux du fer des bandages, état qu'il est de l'intérêt de l'administration des chemins de fer de maintenir, le fer aciéreux étant beaucoup plus résistant que le fer doux. Si cependant on pouvait accomplir un essai sur une grosse roue en fer non cémenté, on reconnaîtrait sans peine qu'aux vitesses employées dans les

Digitized by Google

expériences ci-dessus le déplacement du pôle est insignifiant.

On y arriverait, surtout, par l'emploi de bobines cintrées (§ 108), que j'avais vainement proposées à la commission officielle.

Les choses en sont restées là quant au procédé paracirculaire.

§ 207. Nous persistons à croire que ce procédé n'a pas dit son dernier mot. Si la Commission avait daigné nous écouter et faire une expérience avec des hélices cintrées, il est probable que la question aurait fait un pas de plus. Mais, pressée de conclure, elle était, par cela même, peu disposée à tenter de nouveaux essais.

Prévoyant bien qu'elle se bornerait à constater ce qui existe, sans tenir compte de ce qui restait à faire, j'ai vainement demandé qu'elle voulût bien attendre que mes essais fussent terminés. Le Ministre des travaux publics d'alors, M. Lefèvre Duruflé, peut se souvenir de mes protestations à cet égard.... « La Commission ne vous dira pas plus que ce que j'ai l'honneur de vous dire moi-même, savoir que l'invention en est à ses débuts et qu'elle n'a fait que ses premiers pas ; le temps de la juger n'est pas encore venu. »

Même langage fut tenu à la Commission dont l'intervention aurait eu sa raison d'être si j'avais considéré mon invention comme terminée. Vains efforts : le procédé fut condamné, et avec lui, le principe même de l'invention,

Digitized by Google

à peu de distance du chapitre où le Rapport (1) constate formellement, un effet utile d'environ 9 p. 100, produit par ces mêmes moyens.

« En adoptant à l'unanimité ces conclusions, la Commission se plaît à reconnaître le zèle et la persévérance dont M. Nicklès et ses associés ont fait preuve dans l'étude de cette question difficile; s'ils n'ont pas réussi comme beaucoup de personnes en avaient conçu l'espoir, ils ont été des premiers à développer cette idée qui pouvait avoir d'utiles conséquences pour l'industrie et dont il était, dans tous les cas, nécessaire de mesurer la valeur pratique. »

Voilà donc le principe lui-même frappé de condamnation par la Commission qui venait d'en constater, officiellement, l'existence. Mais, de ce que, dans un premier essai on a reconnu une perturbation produite par la rotation, s'ensuit-il qu'on ne saurait éviter cette cause de perte? Quel est donc le procédé, l'invention, ou l'application qui ait, du premier coup, satisfait à toutes les exigences? Un principe existe ou n'existe pas, pour lui il n'y a pas de mesure; son existence est affirmée par le moindre effet utile, et sur ce point, un rendement de 80 p. 100 n'apprend pas plus qu'un rendement de 8 p. 100. Car, tant qu'un procédé n'a pas fourni 0 à l'échelle normale, il a des chances de succès, sinon par lui-même, du moins par le principe sur lequel il est fondé.

(1) Ce document est daté du 12 avril 1852; il est déposé au Ministère des travaux publics.

Digitized by Google

C'est ce que j'ai prouvé aussitôt que j'ai pu prendre connaissance du rapport; les hélices cintrées étant définitivement rejetées ainsi que le système para-circulaire en général, je dus abandonner cette voie et m'adresser aux électro-aimants circulaires, qui n'avaient alors qu'une existence théorique. J'en fis construire un avec lequel il me fut facile d'établir :

1° Que le déplacement des pôles n'est qu'un accident inhérent au procédé et qu'on peut l'éviter sans peine;

2° Qu'il est possible de communiquer aux roues une aimantation constante pendant la rotation.

En apprenant cette nouvelle, la Commission, comprenant qu'elle était allée trop loin dans ses conclusions, se réunit de nouveau, rédigea un nouveau Rapport rectifiant sans doute le premier et, pour mettre, désormais, son infaillibilité à l'abri de toute contestation, elle décida que ce second Rapport ne me serait pas communiqué.

IV.

AIMANTATION CIRCULAIRE.

§ 208. Voici comment le principe des électro-aimants circulaires peut être appliqué aux chemins de fer.

Fig. 10, pl. III, représente un train de roues soudées sur l'essieu, à l'instar des trains de roues motrices de locomotive; nous pouvons le considérer comme une énorme poulie à gorge, dont le moyeu *m* tourne dans

Digitized by Google

une hélice fixe H et dont les disques *d d'*, convenablement évidés, sont également tapissés de fils conducteur. Ce dernier a 4 millim. d'épaisseur; il est enroulé en hélice qui fait corps avec le disque, contrairement à l'hélice H du moyeu qui est *folle* (§ 130), et dans laquelle l'essieu peut tourner sans frottement.

Cette bobine est attachée à la locomotive; elle communique avec les hélices des roues par le moyen d'un commutateur à friction *c c'*, fixé latéralement à chacun des deux coussinets et isolé, d'ailleurs, par une lanière en caoutchouc. Ce commutateur est un anneau en laiton; il est en communication directe (*a a'*) avec l'une des extrémités de l'hélice (*h h'*), qui aimante la roue. L'autre extrémité de cette hélice est piquée dans la roue et communique métalliquement avec elle (b).

L'hélice magnétisante de ce train de roue se compose donc de trois bobines, dont l'une, H fixe, entoure l'essieu, dont les deux autres *h h'* mobiles, font corps avec les roues et tournent avec elles. Le diamètre *m m* du moyeu de celles-ci est égal au diamètre de l'essieu, qui doit, autant que possible, être uniforme surtout vers les extrémités.

Ces trois bobines sont enroulées de manière à n'en former qu'une; elles sont donc, toutes les trois, de même sens.

Le courant leur arrive par dérivation, car le courant principal passe par la bobine fixe de l'essieu.

La communication entre les bobines et avec la pile est ménagée de la manière suivante :

Digitized by Google

Le fil conducteur qui forme l'hélice de la roue *d*, par exemple, est, comme nous l'avons dit, piqué par une extrémité, en *b*, dans la roue et communique métalliquement avec elle. Par l'autre extrémité *a*, il s'engage dans la gorge d'un anneau, fixé latéralement au coussinet et isolé, d'ailleurs, par une lanière en caoutchouc.

Le coussinet étant fixe, l'anneau l'est également, tandis que le fil de l'hélice *h* solidaire de la roue, décrit un mouvement rotatoire et frotte par conséquent, par *a*, dans l'anneau *c*. A ce même anneau est soudé un fil conducteur *f*, chargé d'établir la communication entre les hélices. En effet, ce fil rattache le commutateur à l'hélice H, laquelle, à son autre extrémité, se termine par un fil similaire qui va se rattacher en *c'* au commutateur de la roue *d'*, où se répète tout ce qui vient d'être dit au sujet de l'hélice *h'* de la roue *d*.

Il est maintenant facile d'établir la communication galvanique ; à chaque commutateur est soudé un fil métallique qui, par son autre extrémité *s'* est relié à la pile.

Rien de plus simple que la manière dont se propage le courant principal. Entré dans le commutateur en +, il se rend par *c'* dans la bobine H et de là, par *f'*, dans le second commutateur, d'où il s'échappe par —.

Le courant des hélices *h'*, ou courant dérivé, entre en *a*, suit l'hélice dans ses circonvolutions, sort ensuite par la piqûre en *b*, traverse l'essieu qui sert de conducteur, et entre dans l'hélice de la roue *d'* par une piqûre semblable *b* pour ressortir en *a'*.

Digitized by Google

On remarquera ici ce fait assez intéressant, que l'essieu est à la fois le réservoir du magnétisme et le conducteur de l'électricité.

Dans l'arrangement qui vient d'être décrit, le train de roues devient donc un électro-aimant circulaire complet, dans lequel on voit intervenir suivant les besoins, des hélices fixes H aimantant le fer en mouvement, c'est-à-dire, l'essieu, et des bobines h et h' solidaires avec le fer qu'elles doivent aimanter, c'est-à-dire, les roues.

La théorie de ce système de roues est toute entière dans ce qui a été dit au chapitre des électro-aimants circulaires. Une hélice de même sens d'un bout à l'autre, enveloppe le train de roues de manière à accumuler autant que possible, sur les disques tout le magnétisme contenu dans le fer de l'appareil. Il est, par conséquent, à désirer qu'il y ait le long de l'essieu, le moins possible de saillies et d'entailles ; il sera également utile d'empêcher, autant que possible, les extrémités, y y' de l'essieu, de saillir du plan des roues.

§ 209. On peut se demander pourquoi, dans ce dispositif, on ne profite pas de l'augmentation de force qui résulte de l'action simultanée des deux pôles magnétiques sur une même armature. J'en ai tenté l'essai, à l'origine, en faisant de chaque roue un électro-aimant circulaire complet, c'est-à-dire, à deux pôles dont les disques étaient nécessairement très-rapprochés ; mais sans compter les difficultés très-sérieuses que ce système pouvait soulever dans la pratique des chemins de fer, il

Digitized by Google

est sujet à un affaiblissement considérable par suite de la proximité des pôles (§ 142).

Comprenant d'ailleurs que, dans une roue motrice, il importe avant tout, que le bandage soit intact, il n'y avait pas à hésiter ; il fallait se borner à n'admettre qu'un pôle par roue.

Les pertes occasionnées par cette séparation, sont, au reste, en partie compensées, et voici comment ; la locomotive porte six roues, toutes rivées sur l'essieu et faisant corps avec lui ; ces roues, en fer, roulant à cheval sur la voie, établissent une véritable communication métallique entre les deux lignes de rails, qui, dès lors, ne peuvent plus être considérées comme deux armatures agissant chacune pour son compte. C'est, jusqu'à certain point, comme si les roues motrices électro-magnétiques roulaient sur une seule armature. Nous disons « jusqu'à certain point, » parce qu'il ne faut pas se dissimuler qu'une armature pareille, composée de pièces dont deux sont reliées par une troisième en rotation, est loin de remplir exactement l'office d'une pièce de fer unique, ou même composée de pièces rapportées et établies à demeure.

Puisque nous ne nous dissimulons pas le côté vulnérable de nos inventions, on nous permettra aussi d'ajouter cette circonstance éminemment favorable au cas particulier, circonstance résultant du fait consigné aux §§ 54 et 141. En armant un pôle d'un électro-aimant on renforce le pôle opposé. Les deux rails s'entre aideront donc

Digitized by Google

mutuellement en augmentant la polarité antagoniste et ce surcroit d'adhérence sera obtenu même sans le concours simultané des deux pôles.

§210. Ce dispositif a été imaginé en 1857, en suite de la proposition qui me fut faite par la direction du Conservatoire impérial des arts et métiers, de remettre à l'étude la question de l'adhérence magnétique dans la locomotion sur chemin de fer et même, s'il y a lieu, d'expérimenter en grand sur une de nos voies ferrées. On me demanda un croquis que je me hâtais d'envoyer ; c'était un projet de roues à aimanter circulairement. Arrivé à Paris quelques mois après, je vis ces roues installées sur un petit chemin de fer de 10 mètres de long; le tout établi dans l'ancienne église du Conservatoire.

Ces roues, qui n'avaient pas toute la force dont elles étaient capables, réclamaient un complément que je me hâtais de leur donner; il en est résulté la combinaison que nous venons de décrire. Elle n'a pas été exécutée, malgré les engagements pris par M. le général Morin, directeur du Conservatoire.

Deux choses m'ont surpris durant ces relations avec ce célèbre établissement : la première, c'est qu'on me laissa ignorer que cette reprise de mes expériences était due à l'initiative de l'Empereur, et qu'on ne m'en parla que quand on me vît instruit de cette mesure si flatteuse pour moi; la deuxième, c'est que les expériences étaient conduites, dirigées et exécutées par des personnes complétement étrangères à l'électro-magnétisme. Mes in-

Digitized by Google

stances pour obtenir, qu'en mon absence on voulût bien consulter l'un des savants physiciens du Conservatoire furent vaines ; M. le Directeur y resta sourd et décida finalement que les expériences seraient discontinuées, malgré l'engagement formel pris par lui, d'un autre côté, d'examiner à fond, non pas seulement l'adhérence magnétique sur chemin de fer, mais encore l'application de celle-ci à la transmission du mouvement.

Cet engagement a été pris solennellement envers la science dans le *Moniteur universel* du 9 mai 1858. Nous le transcrirons, textuellement, plus bas.

Les expériences furent donc discontinuées, bientôt après avoir été commencées.

Voulant connaître les motifs de cette mesure, je demandai officiellement un Rapport. J'ai sous les yeux cette pièce, qui fut délivrée à la date du 14 août 1858, et qui a été rédigée et signée par le sous-directeur. Trop longue pour être reproduite ici, elle justifie surabondamment mes regrets d'avoir confié mes inventions à des mains incompétentes.

Disons cependant que pour donner à mes réclamations un semblant de satisfaction, on a, au dire du Rapport, « chargé M. E. Becquerel de déterminer la résistance moyenne des éléments de pile employés, » oubliant, sans doute, que ce n'était pas de pile qu'il s'agissait, mais bien d'électro-aimants capables de fonctionner avec le premier courant galvanique venu.

C'est sur l'expérience elle-même qu'il aurait fallu con-

Digitized by Google

sulter M. Becquerel ; on aurait ainsi gagné beaucoup de temps. On aurait appris que pour avoir la mesure de l'application indiquée, il y avait autre chose à faire qu'à mettre des rubans de cuivre à la place des fils conducteurs et à faire des recherches à perte de vue sur l'intensité des courants.

L'une des grosses objections soulevées par le Rapport est basée sur la prétendue nécessité d'augmenter, outre mesure, la section des rails.

Cette nécessité n'est pas fondée ; on a vu, plus haut, ce dont un rail de chemin de fer est capable l'orsqu'il sert d'armature à une roue aimantée.

L'erreur du Rapporteur vient de la manière vicieuse dont il a disposé son expérience.

Au lieu d'employer des rails dont les dimensions fussent à la roue aimantée, à peu près dans le rapport d'un rail de grandeur naturelle à une roue motrice, on se servit d'abord d'une barre de fer de plusieurs mètres de longueur, et dont la section était de 9,61 centimètres carrés.

L'épaisseur de ce rail était donc beaucoup plus forte que celle de la roue.

Son poids était plus de 200 fois le poids de la roue.

Sa longueur était, au moins, 30 fois le diamètre de la roue.

Nous le demandons, sont-ce là les proportions usitées au chemin de fer ?

Ayant fait remarquer aux expérimentateurs la dispro-

Digitized by Google

portion qui existait entre l'aimant et l'armature, ils tombèrent dans l'autre extrême et employèrent une sorte de lame allongée plus large qu'épaisse de 1,02 centimètres carrés de section moyenne ; mais la longueur des deux rails était la même.

Sans s'en douter, on se plaça ainsi dans les conditions les plus défavorables.

On sait, en effet, que l'attraction magnétique décroît lorsque le poids de l'armature dépasse notablement celui de l'électro-aimant (§ 17) ;

Qu'elle décroît lorsque la longueur de l'armature dépasse, un certain nombre de fois, celle de l'aimant (§ 17, p. 24 et 25) ;

Qu'enfin, la forme de l'armature a une grande influence sur l'attraction, et que les lames posées à plat sont peu favorables au phénomène (§ 19) ;

Qu'on s'étonne alors des résultats obtenus sur ce point par M. le Rapporteur.

Nous passons outre à cette partie du rapport où il est question d'expériences instituées dans le but de résoudre des problèmes qui, comme l'influence exercée par l'intensité du courant, par le nombre des tours de spire, etc., sont depuis longtemps approfondis. Le résultat de ces essais se trouve d'ailleurs dans les conclusions, où il n'est qu'un hors-d'œuvre, car, ainsi que nous l'avons dit, il s'agissait d'appareils propres à augmenter l'adhérence et non pas de l'étude des lois qui régissent les courants.

Au reste, voici ces conclusions :

« En résumé,

Digitized by Google

« L'action électro-magnétique dans les électro-aimants circulaires et dans la limite de nos expériences :

« 1° Augmente avec l'intensité du courant (1) ;

« 2° Augmente très-rapidement avec le nombre des spires ;

« 3° Donne lieu à une adhérence plus considérable lorsque la masse de fer doux en contact est plus grande (§ 17).

« 4° Augmente dans une faible proportion, à mesure que le diamètre du moyeu est plus grand. »

Ces conclusions sont conformes aux faits acquis ; elles confirment tout ce que nous avons dit sur ce point, et sont, par conséquent, favorables à nos idées.

Voici la conclusion finale, nous la transcrivons textuellement :

« *Il ne faut pas se dissimuler d'ailleurs que l'action exercée sur les rails exigerait, sans doute, de nouvelles dispositions dans le mode d'établissement de la voie ; la tendance au soulèvement, surtout dans les points de jonction, devant être considérable par suite de l'attraction même de la roue sur le rail.* »

Objection passablement étrange et que l'on voit, à regret, formulée dans un Rapport officiel rédigé et signé au nom de l'une de nos illustrations mécaniques.

Voyez-vous, en effet, la locomotive soulever, avec ses roues aimantées, les rails sur lesquels elle pèse de tout

(1) Cela prouve qu'on a opéré avec des courants faibles (voir § 14).

Digitized by Google

son poids de vingt, trente ou quarante mille kilogrammes ?

Le rapport termine par cette triomphante objection : Ses autres conclusions étant généralement favorables à l'adhérence, on se demande sur quelles considérations sérieuses on a pu se baser, pour faire arrêter la construction du train de roues électro-magnétiques dont on nous avait demandé le plan. Le Rapport n'a évidemment pas tout dit, car toutes les raisons qu'il allègue sont insuffisantes pour expliquer comment M. le général Morin a pu manquer a une mission qu'il était libre de ne pas accepter ; comment, enfin, il a pu faire défaut à des engagements solennels pris à la face du monde civilisé, dans ce passage du Rapport officiel de la Commission de la pile que nous transcrivons d'après le *Moniteur* du 9 mai 1858, p. 2, 1er et 2e alinéas.

« C'est en essayant d'effectuer une application analogue de l'électricité que M. Nicklès, professeur à la Faculté des sciences de Nancy, propose : 1° d'employer des électro-aimants comme éléments des roues de locomotives pour augmenter à volonté leur adhérence aux rails ; 2° de transmettre sans frottement les mouvements les plus rapides au moyen de cylindres en fer doux aimantés, remplaçant les engrenages ordinaires ; 3° de faire intervenir l'électricité dans la construction des mécanismes destinés à mettre en mouvement les freins à l'aide desquels on modère, à volonté, la vitesse des trains de chemins de fer. »

Digitized by Google

» Ces divers emplois de l'électricité rentreraient, quant à leur nature au moins, dans l'ordre de ces applications spéciales pour lesquelles l'électricité peut être essayée malgré son haut prix. Des expériences sur une grande échelle, effectuées par un établissement de l'Etat, prononceront sur les deux premières propositions de M. Nicklès. Quant à la troisième, elle soulève des objections de principe qui n'en permettraient pas l'application. »

Ainsi, « des expériences sur une grande échelle, effectuées par un établissement de l'Etat, prononceront sur les deux premières propositions »... Mais au moment où le *Moniteur* parlait, le parti de ne pas approfondir ces propositions était depuis longtemps pris, et d'ailleurs, la commission du Conservatoire n'a pas tenté la moindre expérience « sur une grande échelle ».

Je suis donc en droit de répéter ici ce que j'ai dit ailleurs, savoir que si la question de l'adhérence magnétique appliquée tant à la locomotion sur chemins de fer qu'à la transmission du mouvement, n'a pas fait, au Conservatoire des arts et métiers, les progrès auxquels on pouvait s'attendre, ce n'est la faute ni de l'inventeur ni de l'invention.

APPENDICE.

Nous venons d'apprendre, assez à temps pour pouvoir le constater ici, qu'une partie des expériences décrites ci-dessus, celles du moins que nous avons publiées en

Digitized by Google

1853, ont été reprises avec grand succès aux Etats-Unis d'Amérique. Bien que nous jugions ces nouveaux résultats plus froidement que ne le fait leur auteur, nous ne pouvons nous empêcher de les rapporter. L'article qu'on va lire est la traduction pure et simple d'une note insérée dans le *Journal polytechnique de Dingler*, T. CLIV, p. 441, qui l'a lui-même empruntée au *Mining Journal*, n° 1254, ainsi qu'au *Notizblatt des Civilingenieur*, 1860, n° 1.

Recherches sur l'aimantation des roues de locomotives dans le but d'augmenter l'adhérence.

« A l'*American scientific Association*, on a récemment lu un mémoire très-intéressant de M. Blake sur les moyens d'augmenter la puissance des locomotives, mémoire contenant des détails précis sur les expériences entreprises par M. Serrel pour aimanter les roues de locomotives afin d'en augmenter l'adhérence. La force de traction fut augmentée de 75 p. 100 par le procédé fort simple que voici : la partie inférieure du bandage est entourée d'une hélice en fil de cuivre (1); la roue tourne dans cette hélice et l'on a remarqué, contrairement à la théorie dominante, que l'effet magnétique maximum coïncide avec le point de contact de la roue avec le rail, lorsqu'on recourbe l'hélice suivant un segment de cercle dont le rayon est égal au diamètre de la

(1) Voyez plus haut, §§ 203 et 204.

Digitized by Google

roue (1). L'une des roues possède le fluide boréal, l'autre jouit de la polarité opposée (2). Les roues aimantées avaient 4 pieds 1/2 de diamètre et pesaient chacune 1100 livres. »

« Sur des rails lubréfiés, les roues non aimantées patinaient sous une pression de 19 livres de vapeur; aimantées, elles ne glissaient que sous une pression de 35 livres. Avec des rails secs et placés dans de bonnes conditions, il fallait 55 livres, dans le premier cas et 88 dans le second, pour amener le patinage. »

« L'hélice se composait de fil de cuivre du n° 8; sa longueur de 2700 pieds, était répartie en 288 circonvolutions; elle était enveloppée de coton et de glu-marine et recouverte de caoutchouc.

« M. Serrel n'a pas reconnu de différence entre l'adhérence au repos et celle des roues en mouvement à raison de 300 tours par minute. »

« La batterie se composait d'éléments de Grove à courant constant au nombre de seize, reliés deux à deux et dont le zinc offrait une superficie de 300 pouces carrés. »

Addition aux §§ 17 et 206.

On lit dans les comptes rendus des séances de l'Académie des sciences du 16 janvier 1860, p. 166, ce qui suit :

(1) C'est l'hélice cintrée dont il est question aux §§ 108 et 207.
(2) Voyez § 107.

Digitized by Google

« M. Ruhmkorff a remarqué, dans la construction des aimants artificiels un fait qui présente de l'intérêt :

« Si l'on serre avec une bride en fer doux l'un des pôles d'un aimant artificiel, on constate que ce fer doux prend de la dureté, il devient plus difficile à limer. Si l'on enlève la bride, elle perd sa dureté et reprend les propriétés du fer doux. »

Ce fait qui est arrivé à notre connaissance trop tard pour pouvoir être mentionné dans le corps de cet ouvrage est, sans contredit, fort intéressant pour les diverses applications dont il est ici question. Réduit à sa plus simple expression, il signifie ceci : *Sous l'influence d'un aimant, le fer doux augmente de dureté et résiste mieux à l'usure.*

On peut en conclure que les poulies de fer qui sont mises en relation avec les électro-aimants à disques acquièrent une plus grande force de résistance à l'usure tout comme les rails destinés à supporter des locomotives à roues aimantées.

Digitized by Google

NOTE A (§ 38, p. 58).

La justesse de ces assertions a été vérifiée par le procédé magnémotrique (§ 26) et la méthode par rayonnement (§ 11), voici comment :

Par l'*appareil magnétométrique*. Le noyau de l'électro-aimant employé était un barreau de fer d'une longueur de $0^m,20$ et de 0,017 de diamètre ; ses extrémités étaient convexes ; il entrait à frottement dans la bobine composée de 400 tours de spire d'un fil de 1 mm. d'épaisseur. On détermina l'attraction exercée sur l'armature roulante par :

1° l'un et l'autre pôle lorsqu'ils étaient de même intensité (fig. 8, pl. I).

2° l'un et l'autre pôle lorsque la bobine n'étant pas placée symétriquement, ils étaient d'intensité différente (fig. 9).

ATTRACTION exercée par les pôles de même intensité (pôles symétriques).		ATTRACTION exercée par les pôles d'intensité différente (pôles dissymétriques)	
Courant α	Courant β	Courant α	Courant β
Pôle A 23mm.	34mm.	Pôle A = 30mm	38,5mm
Pôle B 23mm.	34mm.	Pôle B = 16	29,0
Somme des attractions 46mm	68mm.	46mm	67,5mm

La somme des attractions exercées, séparément, par les pôles de

Digitized by Google

même intensité est donc égale à celle qu'on obtient en ajoutant les attractions fournies par les pôles d'intensité différente. Comme ce résultat a été obtenu à l'aide d'un procédé nouveau, j'ai cru devoir le contrôler par une méthode qui a, depuis longtemps, fait ses preuves.

La *méthode* par *rayonnement*. Cette vérification a été faite avec l'électro-aimant qui a servi dans la précédente expérience.

ATTRACTION exercée sur l'aiguille par les pôles de même intensité (pôles symétriques)		ATTRACTION exercée par les pôles d'intensité différente (pôles dissymétriques)	
Courant α	Courant β	Courant α	Courant β
Pôle A = 1^m17	1^m40	Pôle A = 1^m20	1^m83
B $1\ 17$	$1\ 40$	B $1\ 14$	$1\ 00$
Somme 2^m34	2^m80	Somme 2^m34	2^m83

Cette note se complète par la suivante, B.

NOTE B (§ 39, p. 60).

Il est donc bien vrai que la somme des attractions est la même, que la bobine soit placée symétriquement ou non, et bien des physiciens diront qu'il doit en être ainsi *à priori*. Cependant ils n'auront entrevu qu'une partie de la vérité, car la loi change quand les courants sont faibles ou que les barreaux offrent une grande longueur. Elle change à tel point qu'il y a des cas où l'un des pôles du barreau placé symétriquement, agit à une distance égale à celle à laquelle s'exerce le rayonnement du pôle directement entouré par l'hélice ; ce qui revient à dire que dans le même barreau, la somme des attractions fournies par les pôles de même intensité peut être supérieure à celle des attractions exercées par les pôles d'intensité différente.

C'est, comme on voit, tout le contraire des résultats qui se dégagent des deux tableaux précédents.

Digitized by Google

Voici nos preuves :

L'électro-aimant se composait de l'hélice précédemment employée (Note A) et d'un barreau cylindrique de 1 mètre de longueur et de 0,17 d'épaisseur.

Attraction exercée par les pôles symétriques.	Attraction exercée par les pôles dissymétriques.
(1) $a = 1.62$	(2) $a' = 1.62$
$b = 1.62$	$b' = 0.83$
Somme 3.24	Somme 2.45

Dans cet exemple l'intensité de $a = a'$ mais celle de $b > b'$ et la somme de (1) > (2); et pourtant le pôle a' de (2) était très-près de la bobine.

Cependant la loi se vérifie de nouveau lorsqu'on recule la bobine pour la rapprocher du milieu.

Dans l'expérience que nous allons citer le pôle a était épanoui; il sortait de la bobine, d'une quantité égale à $0^m,14$.

Le pôle opposé b en sortait de $0^m,79$, c'est-à-dire, il y avait entre la bobine et la surface polaire a' une distance de $0^m,14$ et une distance de $0^m,79$ entre l'autre extrémité de la bobine et la surface polaire b'.

Attraction par les pôles symétriques.	Attraction par les pôles dissymétriques.
$a = 1^m,67$	$a' = 1^m,90$
$b = 1^m,67$	$b' = 1^m,47$
Somme $3^m,34$	Somme $3^m,37$

Note C (§ 41, p. 66).

Bien que la démonstration soit suffisante, nous transcrirons ici les résultats consignés dans notre registre de cette époque; ils sont datés du 6 novembre 1850.

« Ces expériences ont été faites avec des cylindres de plus en plus longs à partir du plus petit qui avait, juste, la longueur de la bobine. »

Digitized by Google

α pesait 112 grammes : longueur : 142 millimètres.
β 123 » 147
γ 216 » 260
ρ 278 » 339
ε 639 » 742

	α	β	γ	δ	ε
Courant électrique.	54				
Id. avec la bobine.	25				
Intensité magnétique.	41 1/2	43	54	53 1/2	61

Note D (§ 51, p. 79).

I.

Courant tang. 4° 20′.

	pôle austral.	pôle boréal.
m	610 gr.	605
	600	596
	598	600
m′	499	503
	500	504
	490	498

II.

Tang. 7° 40′.

m	2488	2500
	2500	2500
	2492	2470
m′	2000	1988
	1960	1970
	1980	2000

Digitized by Google

III.

Tang. 12° 20′.

m	2560	2600
	2573	2605
	2600	2570
m′	3590	3600
	3550	3575

NOTE E (§ 70, p. 108).

Dans l'appréciation de ces faits, il est utile de se reporter aux résultats consignés dans les §§ 18, 19, 20 et 21 touchant les armatures et leur mode d'action suivant qu'elles *couvrent* entièrement la surface polaire ou qu'elles ne la couvrent qu'en partie. Par exemple, en n'opérant que sur un pôle de l'électro-aimant trifurqué, l'armature recouvrait celui-ci totalement, tandis qu'en opérant sur les deux elle n'en interceptait qu'une petite partie ; cette circonstance est nécessairement pour quelque chose dans les nombres : 3 kil. et 80 kil. obtenus dans les deux cas ; elle n'ôte, pour cela, rien à la validité des faits rapportés au tableau de la page 108.

NOTE F (§ 84, p. 124 et 245).

Application des électro-aimants au triage des minerais de fer (Electro-trieuse).

Le reproche principal que l'on peut faire à l'électro-trieuse ainsi construite, c'est de ne comporter qu'un triage imparfait, attendu qu'une partie du minerai échappe à l'action magnétique à la faveur des intervalles existants d'un pôle à l'autre.

La difficulté m'ayant été soumise, en 1854, par Adrien Chenot, j'ai indiqué deux solutions auxquelles j'ai donné un commencement d'exécution. Voici en quoi elles consistent.

1° Les quatre surfaces polaires placées sur une même ligne et agissant en même temps, devraient être remplacées par un pôle unique,

Digitized by Google

d'une étendue suffisante et engendré par une plaque de fer de un ou deux centimètres d'épaisseur que l'on enchasse, en tout ou en partie, dans une bobine.

La plaque ayant, par exemple, deux décimètres de largeur, on aurait une surface polaire de deux décimètres de longueur que l'on pourrait rendre suffisamment puissante pour obtenir une attraction à la distance d'un centimètre.

Cependant à cette échelle et surtout à une échelle plus grande, ce procédé offre un inconvénient que nous nous hâtons de signaler ; c'est que l'attraction n'est pas exercée avec une égale intensité en chacun des points de la surface polaire. Les extrémités attirent, en effet, plus fortement que les points intermédiaires et cela doit être, puisque les premières sont plus directement influencées par le courant. Pour rétablir l'équilibre, il conviendrait donc de cintrer ces surfaces, de façon à rapprocher du minerai les points les plus faibles. L'attraction magnétique augmentant comme le carré de la distance diminue, on pourrait ainsi renforcer les points les moins actifs placés vers le milieu et leur donner une force attractive semblable à celle des points les plus puissants, situés, comme nous l'avons vu, aux extrémités.

Au reste, cette opération peut être singulièrement facilitée au moyen d'une propriété inhérente à ces sortes de minerais : c'est que la poudre ferrugineuse est bien plus attirable quand elle a déjà subi l'action d'un aimant ; sous l'influence du fluide magnétique, elle se polarise elle-même, se *sensibilise* en quelque sorte, et acquiert du magnétisme rémanent ; à partir de ce moment, l'attraction se fait à une distance bien plus grande et le minerai pulvérisé se répartit plus uniformément sur le plan attractif.

La *sensibilisation* du minerai pourrait être opérée par les cylindres broyeurs eux-mêmes ; on n'aurait, pour cela, qu'à les convertir en électro-aimants circulaires. Le même agent employé à pulvériser le minerai servirait donc aussi à le rendre plus attirable et, par conséquent, à en faciliter le triage.

Avec du minerai sensibilisé, on pourrait, peut-être, se contenter d'un électro-aimant à pôles épanouis dans le genre représenté par la fig. 27, pl. I ; on a vu que c'est un simple rectiligne portant sur chacun de ses pôles une règle en fer plus ou moins longue.

Digitized by Google

Cet appendice, à la vérité, est une cause d'affaiblissement, car il fait l'office d'armature; toutefois, comme il ne touche qu'un pôle, il partagera le fluide de celui-ci et jouira d'une force d'attraction plus ou moins grande suivant l'intensité magnétique développée.

Le minerai sera donc attiré suivant $v\,x$ ou $y\,z$ et débarrassé de la gangue non attirable; disons cependant que ce second procédé nous paraît avoir moins d'avenir que le premier. Au reste, ni l'un ni l'autre n'a été expérimenté en grand.

Note G (§, 194 p. 245).

Ces mêmes trifurqués peuvent se dériver du bifurqué de la manière la plus simple puisqu'il suffit d'appliquer sur la culasse, parallèlement aux branches et dans la direction de celles-ci, un noyau en fer que l'on n'a plus qu'à garnir de fil.

Le multifurqué de la fig. 37 (pl. 1) est un exemple de ce genre ; dérivé lui-même des fig. 25 et 26, il mène à l'électro-aimant tubulaire des fig. 34 et 35 en passant par fig. 36, ainsi qu'il est expliqué au § 81. L'observation faite au dernier alinéa de la p. 122, et relative au fantôme (fig. 7 pl. IV) de l'électro-aimant de la fig. 36, donne à penser que ces aimants sont de force égale. On peut inférer de là que le concours d'une enveloppe sans solution de continuité, n'est pas indispensable à la confection d'un électro-aimant *tubulaire*. Les qualités de ces aimants leur viennent de la forme cylindrique de leur noyau et de la forme concentrique du pôle complémentaire.

Note H (§ 200, p. 225 et § 203, p. 261).

• C'est à la suite de la publication de cette note que j'appris que M. *Weber* avait depuis longtemps émis l'idée d'augmenter l'adhérence des locomotives à l'aide du magnétisme (1), et que M. *Liebig* avait mentionné cette idée dans une des nombreuses éditions de ses lettres (2) ; mais aucun des recueils qui revendiquent la priorité pour

(1) *The literary gazette*, 18 juin 1851,

(2) *Jahresbericht*, par MM. *Liebig*, *Kopp*, *Buff*, *Ettling*. *Knapp*, *Will...*, etc., 1852, p. 239.

Digitized by Google

le savant physicien allemand ne dit pas si cette idée a été émise par M. *Weber* comme idée seulement, ou si elle a reçu de sa part un commencement d'exécution. Jusqu'ici je n'ai pu savoir à quelle occasion cette idée a été émise, ni dans quel recueil elle a été produite ; j'ignore de même si M. *Weber* l'a restreinte à l'adhérence sur les chemins de fer, ou s'il l'a généralisée comme on le fait ici, et appliquée à la transmission du mouvement. »

Ce passage est emprunté à ma thèse, présentée, en 1853, à la Faculté des sciences de Paris. Comme elle a été reproduite en tout ou en partie, par diverses publications scientifiques, l'appel que j'y fais au sujet de M. *Weber* a pu être remarqué. Il n'en est pas moins vrai qu'au moment où j'écris, 25 décembre 1859, je suis encore sans renseignements. Il y a plus, m'étant trouvé l'année dernière au congrès scientifique de Carlsruhe et ayant eu la bonne fortune d'y rencontrer les principaux physiciens de l'Allemagne, je leur ai demandé, à tous, de me dire où M. *Weber* a publié son idée et de quelle manière il l'a démontrée. Aucun n'a pu me renseigner.

Au nombre de ces savants, nous citerons : MM. Poggendorff, Muller, Magnus, Buff.

C'est donc, ici, le cas de rappeler ce que M. *Liebig* a dit à une occasion semblable : « L'inventeur n'est pas celui qui a eu l'idée, mais bien celui qui a traduit cette idée en fait. » (*Annalen der Chemie und Pharmacie*, T. CXI, p. 364.)

Digitized by Google

TABLE DES CHAPITRES.

CHAPITRE I.

Page.

Définitions et généralités..... 5

CHAPITRE II.

PREMIÈRE CLASSE D'ÉLECTRO-AIMANTS.

Electro-aimants à branches..... 52

CHAPITRE III.

1re Famille d'Electro-aimants à branches. — *Rectilignes*..... 55

CHAPITRE IV.

2e Famille d'Electro-aimants à branches. — *Bifurqués*..... 76

CHAPITRE V.

3e Famille d'Electro-aimants à branches — *Trifurqués*..... 104

CHAPITRE VI.

4e Famille d'Electro-aimants à branches. — *Multifurqués*.... 123

CHAPITRE VII.

DEUXIÈME CLASSE D'ELECTRO-AIMANTS.

Electro-aimants à disques..... 130

Digitized by Google

CHAPITRE VIII.

Première Division.

Electro-aimants para-circulaires 137

CHAPITRE IX.

1re Famille d'Electro-aimants para-circulaires. — *Unidromes*... 140

CHAPITRE X.

2e famille d'Electro-aimants para-circulaires. — *Bidromes*..... 147

CHAPITRE XI.

3e Famille d'Electro-aimants para-circulaires. — *Tridromes*.... 152

CHAPITRE XII.

4e Famille d'Electro-aimants para-circulaires. — *Multidromes*. 156

CHAPITRE XIII.

Deuxième division.

Electro-aimants circulaires..... 160

CHAPITRE XIV.

1re Famille d'Electro-aimants circulaires. — *Unidromes*..... 165

CHAPITRE XV.

2e Famille d'Electro-aimants circulaires. — *Bidromes*..... 169

CHAPITRE XVI.

3e Famille d'Electro-aimants circulaires. — *Tridromes*..... 188

Digitized by Google

CHAPITRE XVII.

4e Famille d'Electro-aimants circulaires. — *Multidromes*..... 216

CHAPITRE XVIII.

Considérations théoriques..... 221

CHAPITRE XIX.

Classification et notation symbolique..... 231, 242

CHAPITRE XX.

Adhérence magnétique..... 248
Appendice..... 285
Notes..... 289

Digitized by Google

Digitized by Google

רוח משה

L'ESPRIT DE MOÏSE,

PAR M. F. SCHÜTZ.

I.

Universalité du dogme de l'unité de Dieu et de celui de l'immortalité de l'âme. Moïse accusé de matérialisme et de polythéisme. Faiblesse des arguments produits par ses défenseurs. Nécessité d'étudier directement les textes bibliques.

L'analyse des signes de la pensée, établissant le parallèle des définitions successives de toutes choses, nous conduit invinciblement à admettre l'unité psychologique de l'espèce humaine, le caractère nécessaire et absolu des notions fondamentales de l'esprit et l'universalité des lois qui président au développement de l'intelligence. Mais si l'on ne sait pas remonter de la forme au fond et pénétrer jusqu'au sens intime des textes, jusqu'à la signification primitive, jusqu'à l'idée originale; on n'aura que des traductions incomplètes et fausses, des termes vagues sur lesquels on pourra disserter sans fin et qui se plieront à toutes les acceptions. Ainsi les ténèbres

Digitized by Google

s'épaissiront autour des questions importantes que résoudrait facilement la détermination scientifique de la valeur réelle d'un seul mot.

De toutes les grandes pensées qui sont la vie et la gloire de l'humanité, la plus ancienne est celle de Dieu et de l'immortalité de l'âme.

Quelle créature pourrait vivre sans croire à la permanence de l'ordre de l'univers, à l'immutabilité des lois de la nature? Quel homme résisterait à la conscience de son individualité et n'affirmerait pas que le principe vital est impérissable? A tous les peuples de la haute antiquité, la vie apparut comme un arbre immense dont la cime s'élevait dans l'espace illimité, et dont les racines étendues dans les cieux et sur la terre, se perdaient au delà des abîmes sans fond des régions inférieures. L'univers vivant n'était qu'une échelle lumineuse aux degrés sans nombre, une chaîne d'or aux anneaux infinis, descendant du foyer de toute existence pour remonter jusqu'à lui.

Le monothéisme est au fond de tous les systèmes religieux. Les Pères de la nation chinoise ont donné à leur dieu le nom d'Être suprême, CHANG-TY.

Les vieilles nations celtiques donnaient au créateur le titre de Très-Haut, de Tout-Puissant Père de l'univers, TEU-TAT-ÈS (ou teut-tat-ès).

Les divinités que le polythéisme indien compte par milliers ne sont que des attributs, des formes des aspects divers de BRAHM l'irrévélé, l'absolu dont l'im-

Digitized by Google

mensité embrasse le grand tout. Le splendide Panthéon des Egyptiens et leur trinité elle-même aboutissent à PI-ROMI.

Au-dessus de l'Olympe païen plane la grande figure du FATUM, la parole, le verbe, la loi nécessaire à laquelle Jupiter et les dieux et les hommes sont également soumis.

Dans les dualismes antiques, un dieu suprême, ZERVANE-AKERENE, l'Eternel ou ALL-FADER. le Père de l'univers, est le principe et la fin du combat des génies du bien et du mal. Le sens commun ne peut admettre que l'ordre admirable de la nature résulte de l'action désordonnée d'une infinité de forces divergentes, il a plus de répugnance encore pour l'absurde conception d'un mal absolu faisant au bien, également absolu, une guerre sans cause et sans terme.

Chez tous les peuples de l'antiquité se retrouve plus nettement formulée que le monothéisme fondamental, le dogme de la survivance des âmes et sa conséquence rigoureuse, le culte des mânes. Leur intercession est le lien qui rattache partout la terre au ciel des divinités inférieures, et par elles à celui des grands dieux et à la cause première de tous les êtres.

Cependant un législateur aurait ignoré ou caché l'unité de Dieu et l'immortalité de l'âme. Un peuple aurait vécu, pendant plusieurs siècles, complétement privé de ces deux croyances universelles. Et ce législateur serait Moïse, et ce peuple le peuple hébreu.

Digitized by Google

Entre tous les grands hommes qui sont livrés aux contradictions de la foule, Moïse est le plus maltraité et le plus mal défendu.

Les uns l'accusent de matérialisme, d'autres de polythéisme. On lui conteste le titre d'auteur du *Pentateuque* par des arguments qui amèneraient à douter de son existence individuelle. — Nous entendons chaque jour ces questions : Moïse n'a-t-il pas rejeté le dogme universel de l'immortalité de l'âme ? Où trouver dans tout ses livres un seul mot de la vie future ? Ne dit-il pas, au contraire, l'âme c'est le sang ? Le matérialisme n'est-il pas la croyance des sémites de la haute antiquité ? Ecoutez Job qui s'écrie : Je mourrai pour ne plus renaître, la nuée se dissipe et s'en va, ainsi l'homme descend au sépulcre, il ne remontera plus. L'homme perd sa vigueur, il expire, puis, où est-il ? Onde évaporée de la mer, ruisseau mis à sec, tel est l'homme ; étendu mort, il ne se relève point ; pour eux, plus de réveil, point de réveil à leur sommeil tant que subsisteront les cieux. L'auteur du Kholehet, Salomon, quand il paraphrase la sentence gravée sur la tombe de Sardanapale, le sage Salomon ne prêche pas une doctrine nouvelle dans l'intérêt du despotisme royal ; il est orthodoxe au point de vue mosaïque, il l'est encore quand il nie la vie future et refuse à la loi morale toute sanction divine au delà de ce monde, quand il soutient, dans l'assemblée religieuse, la doctrine de l'anéantissement.

J'ai vu, dit l'Ecclésiaste, j'ai vu le juge inique et im-

Digitized by Google

pie; j'ai pensé dans mon cœur, Dieu récompensera le juste et punira l'injuste, à chaque œuvre son temps; mais alors méditant sur la nature humaine, j'ai compris que Dieu montrerait clairement aux hommes qu'ils ne sont que des bêtes. En effet, les fonctions, les plaisirs et les peines de la vie sont les mêmes chez l'homme et chez la bête, telle est la mort de l'un, telle est la mort de l'autre.

Tout est néant, tout va au même lieu, tout fut tiré de la poudre et tout retourne dans la poudre. Qui dira si l'esprit de l'homme s'élève vers le ciel et si l'esprit de la bête descend sous la terre? J'ai donc reconnu qu'il n'y a rien de meilleur pour l'homme que de jouir de toute façon, puisque c'est là son lot; et qui le ramènerait pour voir ce qui sera après lui? Les Saducéens seraient également orthodoxes quand ils nient obsolument l'existence de l'esprit; au lieu de former une petite secte qui ne devint puissante qu'aux jours de la décadence, ils auraient formé de tout temps la majorité du peuple de Dieu.

En sorte qu'on devrait se demander jusqu'à quel point la négation d'un dogme universel, faite par toute une race, pendant des siècles, pourrait servir d'argument contre l'unité de l'espèce humaine?

Moïse était-il réellement monothéiste? Dans le Pentateuque il parle plus souvent des *dieux* que de Jéhovah, et ces Elohim ne sont que des forces élémentaires ou des personnifications des facultés et des actions humaines.

Digitized by Google

Le Pentateuque n'est très-probablement que le résultat d'une tentative de conciliation faite entre deux cultes contraires, vers le milieu du VII^e^ siècle avant Jésus-Christ. C'est comme tous les grands monuments littéraires d'Israël, une œuvre formée de pièces d'âge différent et par une sorte de remaniement continu, il est impossible de l'attribuer à Moïse, et la grande figure du législateur des Hébreux se confond dans l'ombre du passé avec les fantômes des personnages mythiques.

En présence de semblables attaques, les croyants, accoutumés à se représenter Moïse comme l'apôtre du monothéisme et de l'immortalité, ne savent comment le défendre. Ils lisent les passages incriminés, et, contraints de les admettre, ils sont réduits à pallier la faute, à plaider les circonstances atténuantes, à chercher des détours subtils, à bâtir ingénieusement des hypothèses dans le vide.

Je choisirai la plus spécieuse de ces suppositions pour montrer la faiblesse de la défense.

On argumente ainsi : Le dogme de l'immortalité conduit trop aisément à la déification des grands hommes, à l'idolâtrie, source de tout esclavage et de toute corruption. Le prophète ayant vu le danger se sera dit : Sacrifions le dogme de la vie future au dogme plus important, au dogme fondamental de l'unité de Dieu. Laissons au temps et à la conscience humaine le soin de faire prévaloir l'espérance d'une vie éternelle ; à l'exemple des prêtres de Memph et de No, cachons sous le boisseau

Digitized by Google

de l'initiation une lumière trop vive aux yeux du vulgaire n'enseignons la vérité qu'à un petit nombre d'élus d'une sagesse éprouvée.

Cette hypothèse est démentie par les faits, les Israëlites esséniens, kabbalistes pratiques et thérapeutes, ont certainement formé des sociétés, au sein desquelles différents degrés d'initiation furent soigneusement maintenus par l'orgueil des sectaires, mais dans l'histoire des époques antérieures il n'existe aucune trace d'une institution semblable.

Tous fils de Sem, d'Héber et d'Abraham, tous également appelés par le Seigneur, les disciples de Moïse devaient se regarder comme des frères. — Le seul passage qu'on ait allégué en faveur de l'existence d'une doctrine secrète est précisément celui qui ne permet pas de l'admettre, mais il faut lire le chapitre tout entier.

Les 70 vieillards sur lesquels Dieu a solennellement répandu dans son tabernacle l'inspiration de Moïse, ont pour mission de soutenir, de publier, de répandre au sein de la nation la doctrine du maître, à laquelle ils n'ont rien ajouté.

Alors deux vieillards qui n'étaient pas allés au tabernacle, bien qu'ils eussent été jugés dignes d'être inscrits au nombre des coopérateurs de Moïse, deux vieillards, dont les noms symboliques étaient Eldad et Moudad, se mettent à remplir l'office de Nabi et à enseigner au milieu du camp d'Israël.

Un jeune garçon court pour le rapporter à Moïse,

Digitized by Google

disant : Eldad et Moudad prophétisent au camp. Et Josué, fils de Nun, l'un des appuis de Moïse, prend la parole et dit : O Moïse, ô mon maître, empêche-les. Et Moïse lui répond ; Es-tu donc jaloux pour moi ? plût à Dieu que tout le peuple de Jéhovah fût prophète ! oh que l'Eternel mette en eux son *esprit !*

Une autre hypothèse non moins ingénieuse a été imaginée par d'autres théologiens (1). Dieu, par un véritable miracle, aurait modifié chez les Israëlites la nature de l'esprit humain ; il leur aurait enlevé le sentiment naturel de l'immortalité, parce qu'il entrait dans ses desseins de ne pas manifester sa miséricorde avant que sa souveraineté eût été pleinement reconnue. L'idée de la bonté paternelle qui est prête à pardonner à l'homme malgré son indignité, ne saurait être salutaire que pour celui qui sent déjà qu'il en est indigne et qu'il a besoin d'être pardonné, en d'autres termes, qui a déjà conscience de tout ce qu'il devrait être et de ce qu'il n'est pas. Tout au contraire, elle ne peut qu'avilir celui qui ne s'est pas fait un idéal assez haut du devoir et qui ne se trouve pas bien misérable en regard des exigences de sa conscience ; elle ne peut que l'exposer à rabaisser sa morale au niveau de ses propres faiblesses.

Ainsi s'expliqueraient les ombres que l'ancien Testament laissait planer sur la vie future. Le principal but

(1) M. Hardwick, *Christ and other masters* (analyse de M. Milsand.)

Digitized by Google

de la loi donnée aux Hébreux était de développer chez eux le sentiment de l'imperfection humaine et de la perfection divine, de les amener à reconnaître comment la créature était incapable de se rendre irréprochable devant la majesté suprême. D'ailleurs, les Hébreux étaient encore trop dominés par leurs sens, et la perspective toute spirituelle de la rémunération au delà de la tombe ne les aurait pas suffisamment touchés. Pour les convaincre que Dieu était le maître souverain et l'immuable justice dont les commandements ne pouvaient être violés impunément, il fallait que, dès ce monde, chaque transgression de leur part fit retomber sur eux un châtiment incontestable. Les certitudes consolantes de la vie future ne devaient être accordées à l'humanité qu'après la rédemption.

Dans cette théorie se trouve, à côté de la pensée profonde de l'initiation successive, une opinion très-hasardée; l'idée d'un dieu qui enlève à son peuple chéri les notions naturelles d'immortalité, notions universelles qui subsistent au sein des religions les plus imparfaites, où elles sont un témoignage de liberté morale, une garantie, une promesse de régénération. Mais, comme on avait peine à admettre que Dieu eût rendu ses enfants incapables de comprendre et d'accueillir le dogme de l'existence infinie, il a fallu déprécier ce dogme et amoindrir la portée des doctrines religieuses de l'Egypte, de l'Inde, et surtout de la Perse et de la Chaldée.

Des exemples de ce genre nous montrent combien le

Digitized by Google

sentiment religieux est habile à tout justifier, à tout concilier, à tout ramener à son point de vue. L'intelligence, le temps et les efforts perdus en vaines suppositions conduiront à des résultats positifs, dès qu'on voudra quitter le terrain mobile de l'imagination pour le roc inébranlable de la réalité, dès qu'on abordera d'une manière sérieuse l'examen des textes originaux.

II.

Nécessité de recourir au texte hébreu. Imperfection de la traduction des Septante, et de celles de saint Jérôme et de Luther. Caractère de la langue hébraïque à l'époque sacerdotale.

La critique biblique ne peut avoir qu'une base, la connaissance du *texte original.*

Or, comme je vais le démontrer, nous n'avons pas encore une traduction claire et complète des livres sacrés des Hébreux.

Les milliers de versions qui existent n'en reproduisent en définitive que trois : celle des Septante, celle de saint Jérôme et celle de Luther.

Pour montrer combien une investigation régulière et scientifique du sens exact de la Bible est le seul moyen de connaître les livres sacrés, nous allons prouver combien les versions les plus estimées sont incomplètes. La plus ancienne, la plus célèbre de toutes ; celle des Septante, a été justement condamnée par saint Jérôme et par tous les critiques anciens ou modernes qui avaient

Digitized by Google

étudié ce livre avec attention et les connaissances nécessaires : Louis Capelle, *Critica sacra;* Leclerc, *Commentarium in Pentateucho;* Selden, Postel, R. Azarias (*Imre binah*), Don Calmet, *Dissertations.*

Voici le résumé de leurs observations. — Les Septante paraissent traduire au hasard, par pure conjecture ; ils sont inconstants dans leur traduction du même mot hébreu ; quelquefois ils ajoutent, ils corrigent, ils modifient, mutilent et commentent inutilement l'original.

Dans plusieurs livres de l'Ecriture, dans les Rois, les Proverbes, l'Ecclésiastique, dans Job et les Prophètes, ils ont fait des transpositions inexplicables ; ils semblent avoir suivi le texte samaritain ou des versions chaldéenne et syriaque, plutôt que le texte hébreu. Par un désir puéril de ne pas trop le céder en antiquité aux traditions égyptiennes, ils ont ajouté si considérablement à l'âge des premiers patriarches, que, suivant leurs calculs, le monde aurait duré près de deux mille ans de plus que le texte hébreu ne porte.

Nous comptons 4000 ans depuis le commencement du monde jusqu'au Messie ; selon les Septante, on en devrait compter 5856. L'hébreu place le déluge en 1656, et les Septante en 2256. Les treize altérations signalées par les docteurs juifs (Megilla, Talmud de Babylone, Talmud de Jérusalem) ne sont pas les seules qui pouvaient donner lieu aux Israélites d'accuser de fausseté les Ecritures adoptées par les chrétiens. Saint Jérôme ne craint pas d'avancer que les Soixante-dix s'étaient volontairement

Digitized by Google

écartés du sens, dans la crainte de révéler aux païens des mystères qu'ils n'étaient pas capables d'entendre ; et de porter, par exemple, le platonicien Ptolémée philadelphe à penser que les Juifs n'étaient pas essentiellement monothéistes. Cette explication est plausible ; à l'époque d'Esdras, il y avait des choses dont on disait : les lise qui voudra, digne ou indigne ; mais il en était d'autres qu'on devait réserver, pour ne les donner qu'aux sages, parce qu'elles renfermaient la veine de l'intelligence, la source de la sapience et le fleuve de la science. Maimonides disait, lors même qu'il écrivait son *Guide des indécis :* Les sujets de ce genre conviennent à un très-petit nombre d'hommes d'élite et non au vulgaire ; c'est pourquoi on doit le cacher au commençant et l'empêcher de les aborder, de même qu'on empêche un petit enfant de manger des aliments grossiers et de soulever de lourds fardeaux. Nous verrons plus loin quelles graves considérations déterminèrent les traducteurs à altérer les textes du livre de Job, relatifs à l'immortalité de l'âme.

Quant à saint Jérôme, l'étude profonde des langues grecque, hébraïque et chaldéenne, le riche recueil des textes originaux, toutes les anciennes versions des Ecritures, Aquila, Symmaque, Théodotien, les hexaples d'Origènes, les conseils des Juifs et des Chrétiens les plus savants, lui permirent sans doute de pénétrer dans l'intelligence du texte plus profondément qu'on ne l'avait fait avant lui. Mais il lui était difficile de propager cette connaissance si chèrement achetée, si laborieusement

Digitized by Google

conquise. Les progrès du monothéisme lui laissaient bien une liberté plus grande que celle des Septante; mais ils ne lui permettaient pas encore de risquer sans scrupule une traduction littérale.

Enfin la pauvreté de la langue latine et la nécessité de ne jamais paraphraser l'obligèrent à une traduction bien incomplète, bien obscure, où l'on retrouve souvent la pensée de l'auteur tellement amoindrie, qu'on a peine à la reconnaître.

D'ailleurs, qu'est devenue l'œuvre primitive de saint Jérôme ?

Elle a été si souvent altérée par les copistes, que plus de *deux mille* différences sont indiquées entre l'édition de Sixte V et celle de Clément VIII. Bellarmin, remerciant François Luc de Bruges, qui lui signalait *quatre mille* fautes dans cette dernière, disait : *Fateor in bibliis nonnulla superesse quæ in meliùs mutari possent.*

Luther, malgré la hardiesse de son esprit et l'étude réelle de l'hébreu, ne peut s'affranchir complétement de l'autorité de ses devanciers; il n'a pas tiré tout le parti possible des ressources de la langue allemande et de la propriété qu'elle a de former, par la composition, des mots immédiatement intelligibles.

Cette traduction exerce à son tour une grande influence sur les œuvres des savants missionnaires protestants, qui ont déjà traduit la bible en plus de trois cents langues ou dialectes.

Digitized by Google

Le parallèle des versions des Soixante-dix, de saint Jérôme et de Luther avec le mot à mot raisonné, nous montrera comment une traduction est obscurcie par le défaut de termes équivalents à ceux de l'auteur original.

C'est autour d'un texte ainsi voilé qu'ont eu lieu tant de discussions passionnées, et tant de combats sanglants.

Il est temps de remplacer les dissertations stériles et les hypothèses frivoles par l'étude sérieuse. S'il existe un moyen d'arriver directement au sens intime des mots, de déterminer la valeur des termes dont le vocabulaire admet l'incertitude ; si l'on peut ainsi propager, populariser la connaissance des langues sémitiques et en particulier de l'arabe, n'est-ce pas une œuvre qui intéresse également le théologien, le philosophe, l'historien et le littérateur ?

La Bible n'est-elle pas le testament du vieux monde, le tableau de l'humanité primitive, un livre également sacré pour les disciples de Moïse, de Jésus et de Mahomet ?

Les plus respectueux disciples de l'autorité peuvent, sans aucun scrupule de conscience, aborder ces hautes études ; elles ne leur sont pas interdites. Salméron et Véga, *membres* du Concile de Trente, assurent que les Pères n'ont fait aucune comparaison de la Vulgate aux originaux, qu'ils l'ont seulement déclarée préférable aux autres versions latines. Véga cite pour témoin de ce qu'il

Digitized by Google

avance, le cardinal de Sainte-Croix, légat du pape Paul III, au Concile, et depuis pape lui-même sous le nom de Marcel II.

Enfin Bellarmin reproche à Calvin de dire que les Pères du Concile de Trente avaient défendu d'écouter *ceux qui vont chercher l'eau pure jusque dans sa source, et qui réfutent l'erreur par la pure vérité.*

Le Concile, ajoute Dom Calmet, n'a pas voulu, en déclarant la Vulgate authentique, autoriser les fautes qui y étaient alors, et *celles qui peuvent y être encore aujourd'hui.* On peut, sans blesser l'autorité, confronter la Vulgate aux originaux et la réformer lorsqu'elle est défectueuse.

La connaissance exacte du texte biblique est surtout nécessaire aux amis de l'autorité. Il arrive trop souvent qu'une opinion indifférente ou hétérodoxe passe en quelque sorte, et sans qu'on sache comment, à l'état de dogme. Si l'on paraît la contredire, les zélateurs accourent de toute part, et, dans la simplicité de leur âme, ils défendent une hérésie comme article de foi proclamé par l'Eglise.

Pour arriver à l'intelligence des Livres saints, la science des mots et de la grammaire ne suffit pas. L'oubli des grandes traditions religieuses de l'espèce humaine, l'ignorance du génie et de la doctrine des Hébreux ont souvent frappé cette science de stérilité. Si l'on ne connaît pas le lien qui unit Adam à Sem, Sem et ses deux frères à Abraham, Abraham à Moïse et Moïse à Jésus,

Digitized by Google

on ne comprendra jamais complétement ni la Bible, ni l'Evangile, ni la révélation de Pathmos, ni même la prière enseignée par le Christ.

Quand le législateur des Hébreux écrivit le *Pentateuque*, son livre était intelligible pour tous les enfants d'Israël. Le plus humble d'entre tous comprenait sans peine les signes des idées, des sentiments et des faits de l'ordre présent. Les noms les plus sublimes de la philosophie religieuse, aussi bien que les noms les plus vulgaires, s'expliquaient d'eux-mêmes; car, chacun des éléments de la parole avait encore sa valeur primitive et particulière aussi nettement déterminée qu'à l'époque où la langue étant tout à fait monosyllabique; chacun de ces éléments verbaux était représenté par un caractère spécial, esquisse cursive d'une figure bien connue et parlant à tous les yeux. Ecrit ou prononcé, le mot apparaissait toujours comme une image, une définition, un symbole familier. Puis, comme les langues des vieux jours étaient un tableau fidèle de la nature où l'on trouvait à chaque pas l'ombre du créateur, il n'y avait pas dans ces langues un mot, un signe qui n'appartint à l'un des aspects de *Celui qui est les dieux*, à l'une des personnes de la Trinité, à l'un des attributs du Père universel. Appelé par cette évocation constante, l'esprit d'Elohim parlait plus souvent à la raison du Suffète, à l'enthousiasme du Voyant, au courage du héros libérateur.

L'étude, la contemplation des noms divins concentrait toutes les idées, tous les sentiments autour d'un foyer

Digitized by Google

lumineux. Tous les signes de la pensée, groupés autour d'un petit nombre de noms divins, pouvaient conserver une éternelle jeunesse, et acquérir une puissance de représentation égale au progrès d'un avenir illimité.

L'homme des premiers âges, אדם קדמון, avait eu, peût-être, une connaissance plus directe de la signification radicale des mots et des causes premières de cette signification ; mais ces mots avaient pris dans la langue théocratique une acception plus vaste, plus profonde, plus mnémonique, plus propre à l'enseignement rationnel et rapide. Tous les adorateurs de Jéhovah possédaient aussi l'intelligence de tous les symboles du culte extérieur. Ils pouvaient dire ce que signifiaient les douze pains de l'autel, les sept branches du chandelier d'or, les treize parfums de l'encensoir, le voile d'hyacinthe, de pourpre, d'écarlate et de lin (1).

Ils savaient quels rapports unissent le lieu Saint et nos fragiles ouvrages au temple immense de l'Etre suprême. Ils pouvaient encore lire dans les cieux les caractères sacrés, les signes divins auxquels l'antique ראוה

(1) Les douze pains posés sur la table signifiaient le cercle des douze signes et la révolution de l'année. Les sept lampes du chandelier représentaient les sept cieux et les sept planètes. L'autel des parfums, rempli de treize odeurs ou senteurs aromatiques tirées de la mer inhabitable, dénotait que tout est en la main de Dieu. L'écarlate du voile représentait le feu ; le lin, la terre ; l'hyacinthe, l'air ; la pourpre, la mer. Sur ce tapis était figuré l'ordre du ciel, hormis les figures des signes.

Digitized by Google

avait emprunté les lettres de l'alphabet terrestre (1).

Mais quand les enfants d'Israël eurent détourné leurs pas du sentier des ancêtres et suivi des dieux étrangers ; quand ils eurent mis en oubli la mémoire de tant de siècles et les promesses de l'avenir ; quand les jours de l'esclavage, de l'exil et de la dispersion furent arrivés, un voile épais s'étendit sur les noms sacrés, le ciel se ferma, la terre devint muette, l'esprit vivifiant se retira laissant la lettre morte, et dès lors, les mots devinrent ce qu'ils sont en Occident : des signes arbitraires de la parole, des signes arbitraires de l'écriture, des valeurs mal déterminées, des œuvres du hasard et du caprice des conventions individuelles ; un chaos ténébreux dont il fallait séparer et apprendre un par un les éléments confus.

Nous aurions bien de la peine à nous représenter aujourd'hui ce qu'étaient les langues sacerdotales, et quelle perturbation y jetait l'oubli des noms divins. Quand les Coptes adoptèrent le christianisme, leur langue nationale périt presque entièrement ; les noms des dieux avaient envahi jusqu'aux termes les plus simples de la vie

(1) Dans toute l'étendue du ciel, dont la circonférence entoure le monde, il y a des figures et des signes au moyen desquels nous pouvons découvrir les secrets et les mystères les plus profonds. Ces figures sont formées par les constellations et les étoiles qui sont pour le sage un sujet de contemplation, une source de mystérieuses jouissances. Ces formes brillantes sont celles des *lettres* avec lesquelles Dieu a créé le ciel et la terre ; elles forment son nom mystérieux et saint (Zohar, 2e partie, fol. 130).

Digitized by Google

usuelle : le fer était l'*os de Typhon ;* la mer, *la salive de Typhon ;* la vigne, *le sang des géants ;* le chamsès ou soleil, *un crocodile.*

Chez les peuples de l'extrême Orient, les traditions relatives à l'histoire de la parole et de l'écriture subsistèrent jusqu'à nos jours. Chez les Sémites israëlites, l'oubli des origines ne fut jamais aussi complet qu'en Occident.

Partout se maintint le souvenir d'une puissance perdue ; on parla toujours des moyens d'évoquer les morts, d'interroger les siècles passés, de rétablir un lien plus intime entre Dieu, l'homme et le monde. Mais, tandis que des esprits ambitieux cherchaient à conquérir, par les coupables pratiques de la magie ou les puériles extases du mysticisme, un empire imaginaire ; parmi les enfants d'Israël, des âmes d'élite conservaient d'âge en âge, avec un soin pieux, les trésors des traditions religieuse ; elles transmettaient à leurs enfants les testaments des générations, et leur disaient : Ceci est un héritage, c'est un dépôt sacré.

Et la science nouvelle qui prépare les sentiers du Verbe divin, la science qui poursuit dans ses manifestations innombrables l'unité féconde de la loi divine ; la science aime à recueillir ces témoignages vénérables, à rapporter les rayons perdus au centre commun de toute lumière. Mais, comme le vieux chemin peut redevenir une route fréquentée, il est bon de l'indiquer avec soin à ceux qui voudront la suivre.

Digitized by Google

III.

Méthode analytique. Etude directe des noms hébreux de l'âme. Comparaison des noms de l'âme chez les principales nations de la haute antiquité.

Suivant Aben-Ezra, le texte biblique avec ses commentaires traditionnels est semblable à un point environné de cinq cercles concentriques.

1

Nous plaçant avec une entière liberté d'esprit à ce point central, nous examinerons d'abord le texte lui-même sous un rapport purement grammatical, cherchant à bien comprendre la signification radicale des mots, les nuances des termes qui paraissent synonymes, et ne craignant pas de recourir à la paraphrase, car nous chercherons avant tout la clarté.

2

De là, nous passerons dans le premier cercle, dans le cercle des traditions figuratives קבלה ציריות sans lesquelles nous ne pourrions distinguer d'une manière certaine l'acception particulière des termes homographes, qui ne diffèrent entre eux que par les signes accessoires, par lesquels les anciens docteurs ont voulu conserver le sens du livre de la loi à l'abri des interprétations arbitraires.

Digitized by Google

La tradition nous dit qu'il y a de mystérieux enseignements cachés dans la forme graphique, dans la suspension des caractères, dans l'emploi des lettres finales au milieu des mots et des médiales à la fin ; dans l'emploi des majuscules, des minuscules, des lettres retournées, dans le Keri-Ketib, les permutations d'accents et les formes des mots (1). La tradition dit vrai ; ces dispositions particulières sont les traces de l'écriture hiéroglyphique.

Dans la forme actuelle des caractères hébreux et surtout dans la forme samaritaine et sa ponctuation, supérieure à toutes celles de l'Orient, nous trouvons des secours inestimables pour remonter des syllabaires primitifs d'Israël à celui de דאות, à l'écriture démotique de l'Egypte et jusqu'à ses hiéroglyphes, aussi facilement, aussi sûrement, que, dans la graphonomie comparée des Chinois, nous remontons du *thsao* au *kiay chou*, du *kiay chou* au *tseu*, du *tseu* au *Wenn* et au *Koua;* aussi facilement que nous remontons du sanscrit au pali-thibétain, et du thibétain au magadha.

La tradition graphique nous apprend quelles ont été les transformations successives d'un même caractère représentant une idée ou un son ; elle nous explique les

(1) *Mysteria latent in litteris suspensis, inversis, finalibus in medio et non finalibus in fine positis, supernè punctatis, minusculis, majusculis, in verbis* חסר ו מלא *defectivis et plenis, in Paraschis* סתומות ו פתוחות *clausis et apertis, in* קריכתיב *keri chetib, in accentibus interse permutatis* (V. De l'alphabet universel, p. 35 à 40).

Digitized by Google

apparentes irrégularités d'un système d'écriture; elle nous donne le moyen de remonter de la forme actuelle des lettres à leur forme ancienne, à les transcrire ainsi, à leur rendre leur ancienne figure et à y retrouver le sens primitif d'une manière certaine dans un tableau, dans une image, dans une définition (1).

3

Le troisième cercle comprend les traditions relatives à l'esprit de la lettre, au sens allégorique des livres sacrés; il comprend les preuves tirées du livre de la création, du livre de la lumière, des doctrines talmudiques, des œuvres des maîtres illustres tels que Ben-Maimon, et surtout du rituel israélite. Nous y ajouterons le témoignage du reste de la postérité d'Abraham, des frères d'Isaac et de Jacob, des fils d'Ismaël et d'Esaü. Nous pourrons remonter plus haut encore dans l'antiquité et interroger les ancêtres du patriarche Héber, les premiers dépositaires des témoignages de Noé, de Sem et de Chanaan, les Chasdaïm de Schinhar, les Phéniciens, instituteurs des Hellènes, et ces Egyptiens, dont la Bible a loué la science profonde.

(1) *Consistit hæc traditio in ipsâ litterarum diversitate sive diversâ litterarum figurâ. Ex ipsâ et antiquâ litterarum picturâ mysteria elicere conantur, vel caracteres illos cum novis et arcanis permutant.*

Digitized by Google

4

Comme réaction de la tendance qui pourrait entraîner les esprits, dans le troisième cercle, à l'exagération du symbolisme, apparaissent, dans le quatrième, les objections des partisans de la lettre pure, du sens matériel vulgaire; elles viennent opposer une barrière aux commentateurs et nous forcer à un retour salutaire vers le point de départ dont la lumière, augmentée par celles du témoignage des siècles, ne laisse plus de place à l'ombre du doute.

5

Après avoir suivi le mot et la pensée à travers les âges, après avoir consulté toutes les autorités qui en déterminent la signification, nous pouvons seulement comparer entre eux les plus anciens commentaires, les meilleures versions sémitiques de la Bible, les traductions les plus estimées des peuples européens.

Nous entrons ainsi dans le cinquième cercle, dont la circonférence indéfinie s'étend chaque jour pour recevoir des questions nouvelles. Là, chaque pensée de l'auteur sacré a son histoire.

Dans la comparaison des interprètes du livre saint, nous ne procédons pas, comme on le voit, suivant les inspirations d'un éclectisme vague, par un choix capricieux entre les auteurs : mais nous avons pour les juger un *criterium*, une loi certaine, une mesure commune et incontestable.

Digitized by Google

IV.

Etude directe des noms hébreux de l'âme.

Rapport de ces noms avec les noms latins, grecs, chinois et égyptiens.

L'âme est désignée en hébreu, par les mots suivants : מעה, נפש, נשמה, רוח et quelquefois לב. Voyons si ces mots peuvent se confondre dans une même traduction et si chacun d'eux n'a pas sa signification particulière et parfaitement distincte.

מעה au pluriel מֵעַיִם, en chaldéen מְעִין, est, dans l'acception première et matérielle, l'*uterus* (Gen. 25, 23. Ruth, 1, 11); son nom signifie le séjour de la déesse Astarté, le lieu des sources de l'existence et du support. Par extension c'est le ventre, organe de la nutrition, les entrailles, et ce dernier mot est employé comme en français pour désigner le siége de la tendresse, de la compassion, de la douleur; il devient alors synonyme d'*animus*, et c'est en ce sens que nous le trouvons employé dans les livres de Job, de Jérémie et dans les Psaumes.

נֶפֶשׁ, du radical נָפַשׁ, est au propre le souffle de la bouche, l'haleine, l'exhalaison. Considérée dans l'homme, elle a une acception plus haute : c'est le souffle vital, le principe animant, sentant et locomoteur, le plus souvent, *la vie* animale à laquelle elle préside, la sensibilité, la concupiscence, le désir violent et coupable (Ex., 15, 9. Ez., 25, 15); l'appétit, la faim, la nourriture qui entre-

Digitized by Google

tient la vie du corps. On l'emploie, comme en Occident le mot âme, pour désigner un homme, un individu, une personne, ou comme en Russie, pour désigner un serf, un esclave. Avec les pronoms affixes, ma nephesch, ta nephesch signifie simplement moi et toi, etc. (*passim*). נֶפֶשׁ מֵת (Lév. 21, 11), ne veut pas dire une âme morte, mais simplement une vie éteinte, un cadavre; car la nephesch ne mourait pas. Le mot לֵב cœur est souvent synonyme de la nephesch dont il était le siége.

נְשָׁמָא נִשְׁמָה signifie aussi le souffle, l'haleine; mais ce mot se prend dans une acception bien plus haute: c'est l'*adflatus Dei*, c'est le souffle qui réside dans l'אַפִּים, dans les organes respiratoires supérieurs; c'est le principe de la vie, inspiré par Dieu même dans l'homme; c'est la substance vivante et aimante, *l'âme rationnelle*.

רוּחַ, comme les deux mots précédents, signifie souffle, haleine, respiration, *spiritus pulmoneus;* il se prend au propre pour l'air, le vent; au figuré pour l'inspiration, la volonté. L'*Esprit* dans le sens le plus élevé הָרוּחַ est l'esprit de Dieu créateur et conservateur de l'univers (Gen., 1, 2. Jér. 34, 16. Job, 33, 4, etc.). C'est la grâce qui porte l'homme au bien (Ezc., 36, 26. Job, 32, 8); c'est l'inspiration de tout agent providentiel, ange du ciel (1 Rois. 22, 21. Jer., 31, 3), prophète, poëte, artiste (Gen. 41, 18. Ex., 31, 3. Nom., 24, 2, etc.). Rouah est donc l'esprit qui préside à la vie morale.

Digitized by Google

Comparaison des noms de l'âme chez différents peuples de la haute antiquité.

Voilà ce que nous donne l'étude directe des mots; elle suffit pour établir un rapprochement entre les noms de l'âme chez les principales nations de l'antiquité et ceux que lui donnaient les Hébreux et les autres Sémites.

עין est l'*anima vitalis* des animaux inférieurs, l'âme nutritive d'Aristote, l'âme concupiscible de Platon, le *Seng-hoën* des Chinois, la πθαι chez les Egyptiens, qui la représentaient par un bélier placé sous la figure du ciel.

נפש est l'*anima* des latins, la Ψύχή des Grecs, l'âme animale et passionnelle d'Aristote et de Platon, le *Sin*, le *Kiô-hoên* des Chinois.

Chez les Egyptiens, la figure hiéroglyphique de l'âme dans ce monde est un épervier à tête humaine; quand l'âme est séparée du corps, et parvenue dans la demeure d'Osiris, il est tout esprit, la figure d'homme a disparu. Le nom copte de l'*anima* est *pira* (un des éléments du mot pyramide). Le souffle vital que Dieu a soufflé en nous s'appelle *nibe*, *nibi*, *nif*, *nife*, *nifi*, *neif*, *nouf* (noph qui entre dans la composition de tant de noms propres). Le vrai sens de ces mots est insufflation, inspiration, souffle divin; c'est avec cette valeur qu'il se retrouve dans *nifeoui*, les cieux; souffle de l'esprit du monde, *noute; nite*, organe du souffle, etc.;

Les Arabes appellent encore aujourd'hui l'âme, *nefs*, *rouh*, *bal*, et le Saint-Esprit, *Rouh el quedous*.

Digitized by Google

Nephesch dans le sens défavorable, la Nepthys, sœur et épouse de Typhon, confondue avec la מעין est placée dans les entrailles. Tout le mal lui était attribué ; aux cérémonies de l'embaumement, le serviteur d'Anubis, disait au nom du mort : » Soleil, souverain maître, et vous tous, dieux qui avez donné la vie aux hommes, recevez-moi et permettez que j'habite avec les dieux éternels. J'ai persisté, tout le temps que j'ai vécu, dans le culte des dieux que je tiens de mes pères ; j'ai toujours respecté ceux qui ont engendré mon corps ; je n'ai tué personne ; je n'ai point enlevé de dépôt ; je n'ai fait aucun autre mal dans ma vie. Si j'ai commis quelque faute, soit en mangeant, soit en buvant, ce n'a point été pour moi, mais pour ces choses », et l'embaumeur montrait le coffre où étaient les intestins du cadavre (1). Cette antique formule égyptienne présente, pour l'ordre et les préceptes, un très-grand rapport avec le Décalogue et avec les vers dorés de Pythagore ; par la doctrine de l'infériorité du corps, elle s'approche du gnosticisme.

נִשְׁמָה est la *mens* des latins, le νοῦς des grecs, l'âme raisonnable et immortelle de Platon et d'Aristote, le LY, le *Ling*, *hoën* des Chinois. En Egypte, la Nichama est représentée par l'emblème d'un homme versé dans les spéculations sublimes de Thot et de Neith, d'une âme en repos après le jugement de l'Amenti.

(1) Porphyre, cité par Larcher, trad. d'Hérodote, t. II, p. 353.

Digitized by Google

רוח est l'*animus* des latins, le *meuc* l'*hator* des Coptes, l'esprit dont les scolastiques disaient : *Quæ vis non est educta de potentiâ materiæ, sed à Deo immortali de nihilo creatur eodem tempore quo infuditur in corpus nostrum.* En grec, où se retrouve le mot ανεμος, l'équivalent de *rouah* est πνευμα, et, dans une acception plus haute, le λογος éternel, la sainte lumière, le mandat céleste que, suivant Confucius, nous recevons avec la vie.

C'est le *sônt* des Coptes, qu'ils nommaient aussi *théou*, *teou*, *tou*, *têu*, comme les Celtes.

Chez les Egyptiens, le רוח est figuré comme une espèce d'aigle aux ailes déployées, élevant des bras humains dans le geste de l'adoration ; c'est l'image de l'esprit pur, exempt de toutes souillures, parvenu au dernier terme des transmigrations et retournant à Dieu.

Cette distinction des trois principes de la vie, trop négligée depuis Bacon, sera comprise de nos jours ; elle a été récemment formulée ainsi par M. Isidore Geoffroy Saint-Hilaire :

Il y a dans l'empire organique trois règnes ; dans le premier, la vie est toute végétative ; dans le second, à la vie végétative s'ajoute la vie animale ; dans le troisième, à la vie végétative et animale s'ajoute la vie morale. »

Cette triple vie est l'apanage du règne hominal.

Il serait facile de dresser une liste comparative de tous les noms de l'âme, chez les différents peuples et de suivre ainsi les vicissitudes du dogme de l'immortalité. Mais ce travail est trop étendu pour trouver place en ce Mémoire ; les exemples précédents suffisent.

Digitized by Google

V.

Témoignage de la Tradition, קבלה, *confirmant celui de l'étude directe des noms hébreux de l'âme.*

Considéré en lui-même, c'est-à-dire, sous le point de vue de l'âme, et comparé à Dieu avant qu'il soit devenu visible dans le monde, l'être humain, par son unité, par son identité substantielle et sa triple nature, nous rappelle entièrement la Trinité suprême. En effet, il se compose des éléments suivants : 1° d'un esprit, נשמה, qui représente le degré le plus élevé de son existence ; 2° d'une âme רוח, qui est le siége du bien et du mal, du bon et du mauvais désir, en un mot, de tous les attributs moraux ; 3° d'un esprit plus grossier, נפש, immédiatement en rapport avec le corps, et cause directe de ce qu'on appelle dans le texte les *mouvements inférieurs*, c'est-à-dire, les actions et les instincts de la vie animale.

Pour faire comprendre comment, malgré la distance qui les sépare, ces trois principes ou plutôt ces degrés de l'existence humaine se confondent cependant dans un seul être, on a recours à une comparaison usitée au sujet des attributs divins et dont le germe est dans le *Livre de la création*, ספר יצירה.

Les passages qui témoignent de l'existence de ces trois âmes sont très-nombreux ; mais, à cause de sa clarté, nous choisissons de préférence celui qu'on va lire :

Digitized by Google

« Dans ces trois choses : l'esprit, l'âme et la vie des » sens, nous trouverons une fidèle image de ce qui se » passe en haut ; car elles ne forment toutes trois qu'un » seul être où tout est lié par l'unité. נפש, la vie des » sens, ne possède par elle-même aucune lumière ; c'est » pour cette raison qu'elle est si étroitement liée avec le » corps auquel elle procure les jouissances et les ali- » ments dont il a besoin. On peut lui appliquer ces pa- » roles du sage : « Elle distribue la nourriture à sa » maison et marque la tâche de ses servantes. » La » maison, c'est le corps qui est nourri, et les servantes » sont les membres qui obéissent.

» Au-dessus de la vie des sens s'élève l'âme, רוח, qui » la subjugue, lui impose des lois et l'éclaire autant que » sa nature l'exige. C'est ainsi que le principe animal » est le siége de l'âme. Enfin, au-dessus de l'âme s'élève » l'esprit, נשמה, par lequel elle est dominée à son tour, » et qui réfléchit sur elle une lumière de vie. L'âme est » éclairée par cette lumière et dépend entièrement de » l'esprit.

» Après la mort, l'âme n'a point de repos ; les portes » de l'Eden ne lui sont pas ouvertes avant que l'esprit » ne soit remonté à sa source, vers l'*Ancien des anciens*, » pour se remplir de lui pendant l'éternité ; car toujours » l'esprit remonte vers sa source. »

Chacune de ces trois âmes, comme il est facile de le prévoir, a sa source dans un degré différent de l'existence divine.

Digitized by Google

La *sagesse suprême,* appelée aussi l'*Eden céleste*, est la seule origine de l'esprit. L'âme, selon tous les interprètes du *Zohar*, vient de l'attribut qui réunit en lui la justice et la miséricorde, c'est-à-dire, la *Beauté.*

Enfin le principe animal, qui jamais ne s'élève au-dessus de ce monde, n'a pas d'autre base que les attributs de la force résumés dans la *Royauté.*

Outre ces trois éléments, le *Zohar* en reconnait encore un autre d'une nature tout à fait extraordinaire; c'est la forme extérieure de l'homme, צלם, conçue comme douée d'une existence à part, antérieure à celle du corps; en un mot l'*idée* du corps, mais avec les traits individuels qui distinguent chacun de nous.

Cette idée descend du ciel et devient visible dès l'instant de la conception. « Au moment où s'accomplit » l'union terrestre, le Saint, dont le nom soit béni, envoie » ici-bas une forme à la ressemblance de l'homme et » portant l'empreinte du sceau divin. Cette forme assiste » à l'acte dont nous venons de parler, et si l'œil pou- » vait voir ce qui se passe alors, on apercevrait au-des- » sus de sa tête une image tout à fait semblable à un » visage humain, et cette image est le modèle d'après » lequel nous sommes procréés. Tant qu'elle n'est pas » descendue ici bas, envoyée par le Seigneur, et qu'elle » ne s'est arrêtée au-dessus de notre tête, la procréation » n'a pas lieu. Car il est écrit: Et Dieu créa l'homme à » son image. C'est elle qui nous reçoit la première à » notre arrivée dans ce monde; c'est elle qui se déve-

Digitized by Google

» loppe avec nous quand nous grandissons, et c'est avec » elle encore que nous quittons la terre. Son origine » est dans le ciel (מלעילא והאי צלם אידהו). Au » moment où les âmes sont sur le point de quitter leur » céleste séjour, chaque âme paraît devant le Roi su- » prême revêtue d'une forme sublime où sont gravés les » traits sous lesquels elle doit se montrer ici-bas. Eh » bien ! l'image dont nous parlons émane de cette forme » sublime ; elle vient la troisième après l'âme, elle nous » précède sur la terre et attend notre arrivée depuis » l'instant de la conception ; elle est toujours présente à » l'acte de l'union conjugale. »

Chez les kabbalistes modernes, cette image est apelée *principe individuel* (יחידה).

Enfin, sous le nom d'*esprit vital* (רוח חיוני, ou simplement חיה), quelques-uns ont introduit dans la psychologie kabbalistique un cinquième principe, dont le siége est dans le cœur, qui préside à la combinaison des éléments matériels, et qui se distingue entièrement du principe de la vie animale (*nephesch*), de la vie des sens, comme chez Aristote et les philosophes scolastiques, l'âme végétative (τὸ θρεπτικὸν) se distinguait de l'âme sensitive (αἰσθητικὸν). Cette opinion se fonde sur un passage du *Zohar*, où l'on dit que chaque nuit pendant notre sommeil notre âme monte au ciel pour y rendre compte de sa journée, et qu'à ce moment le corps n'est plus animé que par un souffle de vie placé dans le cœur. C'est pourquoi, au moment de s'endormir, l'Hébreu dit :

Digitized by Google

בידך אפקיד רוחי. *In manus tuas commendo spiritum meum.*

Ces paroles sont, comme on le sait, les dernières que prononça Jésus mourant sur la croix.

Pour celui qui connaît la tradition hébraïque, elles sont alors un témoignage rendu à la réalité de l'inspiration messianique, une allusion à la création de l'homme, et enfin un acte de foi dans une promesse de réveil et de résurrection.

Dans l'extrême Orient, les Tao-sse professent une doctrine analogue. Il y a, disent-ils, 3 esprits, *san chi*, qui habitent dans le corps même de l'homme. Chaque fois qu'on arrive au 57e jour du cycle de 60, ils montent au Conseil des Magistrats célestes, et y rendent compte des fautes et des péchés de l'homme.

Témoignage du rituel israélite.

Dans l'antique rituel israélite, nous retrouvons Nephesch, Nichama et Rouah avec la même valeur. Au matin on remercie Dieu de nous avoir rendu l'âme intelligente; c'est d'elle que l'on parle quand on dit : Mon Dieu, la Nichama que tu as placée en moi est pure, tu l'as crée, tu l'as formée, tu l'as inspirée en moi, tu la conserves en moi, tu me la reprends et tu me la rendras dans la vie future.

Quant à la Nephesch, on se borne à demander qu'elle reste calme, qu'elle soit regardée en toute circonstance

Digitized by Google

comme inférieure; qu'elle soit docile aux lois qui lui sont imposées. Maimonide, au XIIIe siècle, connaissait encore la valeur des noms des trois principes de la vie.

Conséquence de cette doctrine. La vie est un moyen d'éducation, une épreuve, suivant la croyance traditionnelle des Hébreux.

Les deux derniers éléments, חיה et צל, ne comptent pour rien dans notre existence spirituelle renfermée tout entière dans l'union intime de l'âme et de l'esprit. Quant à l'alliance momentanée de ces deux principes supérieurs avec celui des sens, c'est-à-dire, quant à la vie elle-même par laquelle ils sont enchaînés à la terre, elle n'est point représentée comme un mal. On ne veut pas, à l'exemple d'Origène et de l'école gnostique, la faire passer exclusivement ou pour un châtiment ou pour un exil, mais pour un moyen d'éducation et une salutaire épreuve. Aux yeux des anciens Hébreux, c'est une nécessité pour l'âme, une nécessité inhérente à sa nature finie, de jouer un rôle dans l'univers, de contempler le spectacle que lui offre la création, pour avoir la conscience d'elle-même et de son origine; pour rentrer, sans se confondre absolument avec elle, dans cette source *inépuisable de lumière* et de vie qu'on appelle la pensée et la force divine. D'ailleurs l'esprit ne peut pas descendre sans élever en même temps les deux principes inférieurs et jusqu'à la matière qui se trouve placée encore plus bas; la vie humaine, quand elle a été complète, est donc

Digitized by Google

une sorte de réconciliation entre deux termes extrêmes de l'existence considérée dans son universalité, entre l'idéal et le réel, entre la forme et la matière, ou, comme dit l'original, entre le roi et la *reine*.

— Voici ces deux conséquences exprimées sous une forme plus poétique, sans être pour cela méconnaissable : « Les âmes des justes sont au-dessus de » toutes les puissances et de tous les serviteurs d'en haut. » Et si tu demandes pourquoi, d'une place aussi élevée, » elles descendent dans ce monde et s'éloignent de leur » source, voici ce que je répondrai : Un roi à qui il » vient de naître un fils, l'envoie à la campagne pour » y être nourri et élevé, jusqu'à ce qu'il ait *grandi* et » soit préparé aux usages du palais de son père. Quand » on annonce à ce roi que l'éducation de son fils est tout » à fait terminée, que fait-il dans son amour pour lui? » Il envoie chercher, pour célébrer son retour, la reine » sa mère; il l'introduit dans son palais magnifique » et se réjouit avec lui tout le jour. Le Dieu trois fois » saint, (que son nom soit béni!) a aussi un fils de la » reine; ce fils, c'est l'âme supérieure et sainte (נשמה). » Il l'envoie à la campagne, c'est-à-dire, *dans ce monde,* » pour grandir et pour être *initié* aux usages que l'on » suit dans le palais du roi. Quand il arrive à la connais- » sance du roi que son fils a achevé de grandir et que le » temps est venu de l'introduire auprès de lui, que fait-il » alors dans son amour pour lui? Il envoie en son hon- » neur chercher la reine et fait entrer son fils dans son » palais céleste.

Digitized by Google

» L'âme, en effet, ne quitte pas la terre que la reine » ne soit venue se joindre à elle pour l'introduire dans » le palais du roi où elle demeurera éternellement. Et » cependant les habitants de l'hôtellerie, de la campagne, » (de la terre) ont coutume de pleurer quand le fils du roi » se sépare d'eux. Mais, s'il y a là un homme clairvoyant, » il leur dit: Pourquoi pleurez-vous? n'est-ce pas le fils du » roi? n'est-il pas juste qu'il vous ait quittés pour aller » demeurer dans le palais de son père? C'est ainsi que » Moïse, qui savait, lui, la vérité, voyant les habitants de » la campagne (c'est-à-dire les hommes) se lamenter, » leur adressa ces paroles : Vous êtes les fils de Jéhovah, » votre Dieu ; ne vous déchirez pas le visage pour pleu- » rer un mort! Si tous les justes pouvaient savoir ces » choses, ils accueilleraient avec joie le jour où ils doi- » vent quitter ce monde. Et n'est-ce pas le comble de » la félicité que la reine (Schéhinah, ou la présence di- » vine) descende au milieu d'eux, qu'ils soient admis » dans le palais du roi et qu'ils fassent ses délices dans » l'éternité. » (Voyez, pour les citations de ce chapitre, M. Franck (de l'Institut), la *Kabbale* ou *Philosophie religieuse des Hébreux;* le *Zohar*, זֹהַר le *Sepher Jetzirah;* סֵפֶר יְצִירָה; Kircher, Rosenroth, *Kabbala denudata*, etc.)

VI.

Mot à mot raisonné du texte de la Genèse, relatif aux trois principes de la vie, chap. 2, v. 7.

וַיְהוָה *et Celui qui est, a été et sera.*

Digitized by Google

אֱלֹהִים *les dieux*

וַיִּיצֶר *conçut en sa pensée et modela comme un potier, ut figulus* (image égyptienne).

אֶת־הָאָדָם *l'homme terrestre* (le corps humain), le vase de l'âme.

עָפָר *qui est la poussière* (limon), *terra ascendens*, poussière qui s'élève.

מִן־הָאֲדָמָה *tirée* de l'*humus* (mère et épouse de l'homme), la terre cultivable.

וַיִּפַּח *et inspira (anhelans).*

בְּאַפָּיו *dans les organes respiratoires* (le visage, le nez), dans l'*âme irascible* (de ו lui).

נִשְׁמַת *l'âme intelligente et libre* (principe de la vie supérieure, souffle (divin), participation à la vie divine. Substance vivante et animante. Principe intellectuel et moral. — Raison et conscience).

חַיִּים *des vies, des existences (vitarum); comme* 9, 6, 17,

Digitized by Google

רוּחַ חַיִּים *spiritus vitarum,*

וַיְהִי et fut.

הָאָדָם *l'homme terrestre* (le corps humain).

לְ pour.

נֶפֶשׁ *l'âme animale* (le principe de la vie terrestre).

חַיָּה׃ *de la vie* (ou vivante), de cette vie, *vivax, robusta (reviviscens?).*

Explication des mots; examen critique des principales traductions : les Septante, saint Jérôme et Luther.

יְהוָה אֱלֹהִים

Des paraphrases nombreuses seraient nécessaires pour traduire cette expression.

יהוה signifie dans le sens vulgaire *æternus*, décomposé dans cette acception il est bien traduit par ces mots de l'Apocalypse (I, 4) ὁ ὤν, καὶ ὁ ἦν, καὶ ὁ ἐρχόμενος. Dans le sens le plus élevé, suivant les traditions les plus antiques, c'est Celui qui est, a été et sera la puissance, le verbe lumière et la vie éternelle.

Ce nom divin placé devant אֱלֹהִים, pluriel d'אֱלֹהַּ a beaucoup embarrassé les traducteurs de la bible. אֱלֹהִים

Digitized by Google

est le titre par lequel on désigne les bons anges (Ps. 8, 6 et 97, 7).

Mais il désigne encore les héros divinisés, les personnifications mythologiques des nations étrangères (Ex. 22, 20. Jos. 23, 16 et *passim*).

On étend même le nom d'Elohim à toutes les puissances sociales, comme les suffètes et les juges, à toutes les puissances intellectuelles et morales, comme les prophètes (Ex. 21, 6 et 22, 7, 8, 27).

En un mot, Elohim désigne tout messager divin, tout agent providentiel qui est au rapport de Dieu, dans un rapport d'adjonction ou de tendance אֵל ou אֵלֵי.

Cette belle définition de Dieu est synonyme de Jéhovah Sabaoth, que nous traduisons d'une manière si incomplète par le dieu des armées ; elle signifie celui qui est, a été et sera la force, l'intelligence et la vie des puissances du bien ou des armées de la terre et des cieux. De là cette formule de la prière du Christ : à toi seul le règne, la puissance et la gloire aux siècles des siècles.

Des traducteurs, ne songeant pas aux différentes acceptions d'Elohim, ont dit que le pluriel était mis pour le singulier comme signe d'excellence. Ils ont affirmé qu'il ne fallait pas considérer יהוה comme un nom propre synonyme de יה, comme un nom propre mettant au génitif le nom suivant, mais comme une simple apposition, qu'il fallait rendre ces mots par Jéhovah *Deus*, Jéhovah *æternus* (Gen. 2, 4 ; Jon. 4, 6 ; 1 Chron.

Digitized by Google

17, 16), parce qu'après l'adjectif *æternus* il fallait sous-entendre (אלה) Dieu.

Mais, suivant la première règle, on aurait traduit Jéhovah Elohim par l'*Eternel Dieu*, mais aussi Jéhovah Sabaoth par l'éternelle armée. Suivant la deuxième règle, on aurait bien traduit Jéhovah Sabaoth par l'Eternel Dieu des armées; mais il aurait fallu traduire aussi Jéhovah Elohim par l'Eternel Dieu des dieux.

Les 70 ont éludé la difficulté en négligeant le nom divin et en rendant Elohim par le terme vague de Θεὸς.

La Vulgate est plus près du sens en employant *Dominus Deus*, ainsi que Luther en écrivant GOtt der Herr.

וַיִּצֶר de יָצַר est l'action du statuaire, יוֹצֵר *formans figulus*, de l'artiste céramique modelant une figure, et comme il ne peut la modeler que d'après un type conçu dans sa pensée; le verbe hébreu signifie à la fois: *inventa, imagina, animo concepit, cogitavit et finxit, formavit,* et le nom יֵצֶר désigne à la fois la pensée créatrice, le plan *conceptus, cogitatio* (Gen. 6, 5, 8, 21), et le travail du modeleur *fictio, formatio* (Ps. 103, 14. Es. 29, 16. Hab. 2, 18), et ce double sens se retrouve dans l'expression וְצִרַיִם (Job. 17, 7), יְצָרַי, *membra mea (conceptiones cogitationes et formationes Dei), vincula animæ*, car יָצַר est synonyme de צוּר et de צָרַר.

Quand il s'agit de l'Etre suprême dont la volonté est toute-puissante, *animo concepit* vaut mieux que *formavit*.

Digitized by Google

Cependant *formavit* a prévalu dans la Vulgate, bien qu'on ait proposé de rendre les deux idées à la fois par *fecit*.

Les Grecs, se souvenant du mythe de Prométhée, ont traduit וַיִּצֶר par ἔπλασεν, *finxit;* la version syriaque par l'équivalent de *compegit*. Onkelos et les Arabes n'ont pas craint de faire prévaloir le sens le plus élevé, *il créa*.

Les hiéroglyphes égyptiens nous représentent souvent Dieu comme un artiste céramique faisant tourner du pied la roue divine de la nature et modelant les vases corporels où va s'enfermer le souffle inspirateur; mais cette image ne rend pas aussi complétement que le mot hébreu l'acte créateur de יהוה, la pensée divine qui part comme un trait et se fixe dans la forme matérielle. Pour traduire ce mot il faudrait joindre à l'image du statuaire les naïves peintures du cinquième tombeau des rois de Thèbes (Descript. de l'Eg. ant. pl., vol. II. pl. 86, 1. (Guigniaut), note 15 sur le livre 3).

עָפָר poudre, poussière (poussière qui s'élève et se disperse au souffle des vents), cendres d'un mort, d'où sépulcre; on l'emploie aussi pour désigner la terre adamique, l'humus formé des débris des créations antérieures. C'est encore le limon fécondant, les détritus qui servent au développement de nouveaux corps organiques. Mais l'idée dominante dans le déterminatif hébreu, c'est l'action de monter, de s'élever; עָפָר, poussière, et עֹפֶר, chevreau, faon qui grimpe et bondit, ne diffèrent

Digitized by Google

que par la ponctuation. (Gafar ou éléments les plus subtils de la terre qui tendent à s'élever vers le ciel,) suivant les interprètes symbolistes, la matière épurée des corps glorieux, le vêtement de l'âme de l'Adam céleste avant que le péché l'eût revêtu d'une enveloppe de peau semblable à celle des bêtes, d'un corps charnel בשר.

Quoi qu'il en soit, le corps, même dans son état le plus noble, est composé des cendres des êtres qui ont précédé l'homme sur la terre; après la mort de l'homme, ces mêmes cendres formeront des êtres nouveaux. La terre Adama n'est elle-même qu'une couche de cendres, c'est le vaste cimetière des époques qui ont préparé l'apparition d'Adam, c'est là que reposent le débris des animalités puissantes que la tradition désigne par le nom mystique de princes d'Edom.

Les 70 ont traduit par χοῦν qu'entraînait naturellement πλασιν; la Vulgate et Luther ont traduit également par limon; les traducteurs syriaques et arabes ont préféré le sens de poussière.

VII.

Graves difficultés qui résultent de la confusion des noms hébreux de l'âme; elles disparaissent par l'intelligence du sens rigoureux de נפש.

Quand on ne connaît pas la distinction de ces synonymes, il est impossible d'opposer une réponse décisive

Digitized by Google

aux Saducéens et aux critiques modernes qui affirment que Moïse ignorait le dogme de l'immortalité ou voulait le cacher à son peuple. A chaque page de la Bible, nous trouvons des passages embarrassants.

Dès le premier chapitre de la Genèse, nous voyons l'âme de l'homme assimilée à celle des animaux. Dieu dit que la terre et les eaux produisent des êtres doués d'âmes vivantes ; il donne à l'homme et à l'animal, confondus sous le nom commun d'âmes vivantes, les herbes de la terre pour se nourrir. Après le déluge, Dieu fait alliance avec l'homme et avec toute âme vivante. Il permet à l'homme de manger la chair de la bête ; mais il lui défend de se nourrir du sang qui en est l'âme. Il ajoute : Je réclamerai le sang de vos âmes דמכם לנפשתיכם, αἷμα τῶν Ψυχῶν, de la main de toute bête. Il ne semble pas possible de donner à ces expressions un autre sens que celui du pur matérialisme. Le Lévitique dit positivement à deux reprises : l'âme est dans le sang, consiste dans le sang, l'âme de toute chair est dans le sang.

Toutes ces façons de parler, disait Dom Calmet, ne semblent-elles pas insinuer que les termes d'âmes, d'esprits, de souffle divin sont équivoques et qu'ils ne peuvent être employés pour prouver l'immortalité de l'âme, à moins qu'en même temps on n'établisse l'immortalité de celle des bêtes, ce qui rendrait nos preuves inutiles en voulant les pousser trop loin.

Toutes les difficultés tombent devant une seule remarque, devant un seul mot : dans tous les passages

Digitized by Google

allégués ci-dessus, l'âme est désignée par le nom de נֶפֶשׁ, et, comme nous l'avons clairement démontré, ce nom désigne *la vie animale*.

Une conséquence plus importante encore peut être tirée des versets suivants du livre de Job.

VIII.

Mot à mot raisonné des versets 2 et 3, chap. XXVII, du livre de Job.

חַי *vivens*

אֵל *El* (*Deus*) le Dieu vivant

הֵסִיר ou (סור) *removere fecit ou transtulit*, a fait différer.

מִשְׁפָּטִי *judicium meum*, mon jugement.

וְשַׁדַּי *et* (*Saddai*) *Dominus*, et le Tout-Puissant

הֵמַר ou מָרַר *amaritudine affecit*, a rempli d'amertume

נַפְשִׁי *animam meam*, ma vie mortelle, mon âme animale et sensible, ma *nephesch*

כִּי— *Quia*, parceque

כָּל— *omni*, en tout, *pour tout*

עוֹד *tempore* (*prætereâ*) *futuro*, temps à venir,

Digitized by Google

נִשְׁמָתִי *anima mea, mens mea*, mon âme rationnelle, mon âme intelligente (*nichema*)

בִּי *in me*, est en moi

וְרוּחַ *et spiritus* (*insufflatio, inspiratio*) et le souffle l'inspiration (le Rouah)

אֱלוֹהַּ *Eloha*, du Dieu créateur

בְּאַפִּי : *in naso meo*, est dans mes narines, mon cerveau, ma pensée.

Examen critique des différentes traductions de ces versets : les Septante, la version Chaldéenne, la Vulgate, Luther (*Soc. bibl. de Londres*). *Détermination du sens de* בִּי *et d'*עוֹד, *Sanctes Pagninus l'a saisi.*

Sanctes Pagninus a compris et donné le mot à mot exact, qui est : « le Dieu vivant a fait différer mon juge- » ment et le Tout-Puissant a rempli d'amertume ma » *néphesch* (ma vie mortelle, mon âme animale et sen- » sible) parce que ma *nichémat*, mon âme rationnelle, » ma vie intellectuelle est en moi *à tout jamais*, et que » l'inspiration, le *Rouah* du Dieu d'amour, du Dieu » créateur est (en ce moment), dans mon cerveau, dans » ma pensée, dans mon discours ; car ces trois accep- » tions conviennent à אַפִּי.

Digitized by Google

Comparez cette déclaration du dogme de l'immortalité de l'âme avec les autres traductions.

Ζῇ ὁ θεὸς; ὃς οὕτω με κέκρικε, καὶ ὁ παντοκράτωρ ὁ πικράνας (ου πικρώσας) μου τὴν Ψυχήν. Εἰ μὲν ἔτι τῆς πνοῆς μου ἐνούσης (ἐν ἐμοὶ), πνεῦμα θεῖον το περιόν μοι ἐν ῥήμασιν (ου μοὶ ἐν ρἰνὶ).

Vivit Deus *qui* sic me judicavit et omnipotens qui affecit amaritudine animam meam, si quidem adhùc halitu meo immanente et spiritus divinus qui circà me, est in naribus.

La version chaldéenne est moins éloignée du texte hébreu : Vivus est Deus qui abstulit regulam judicii mei, et Omnipotens ad amaritudinem adduxit animam meam; quoniam *defecit iterùm* halitus meus in me et spiritus Dei in naribus meis.

La Vulgate se rapproche également du texte hébreu : Vivit Deus qui abstulit judicium meum, Omnipotens *qui* ad amaritudinem adduxit animam meam; *quia donec* superest halitus in me et spiritus (Dei) in naribus meis. — Luther, s'en rapproche également : *So wâhr Gott lebet, der mir mein Recht nicht gehen lasset, und der Allmâchtige der meine Seele betrübet; so lange mein Odem in mir ist und schnauben von Gott in meiner Nase ist.*

La traduction inexacte de la Société biblique de Londres, dit : Je prends à témoin le Dieu vivant *qui a écarté mon droit* et le Tout-Puissant qui a rempli mon âme d'amertume, que pendant tout le temps que j'aurai du souffle et que Dieu me laissera respirer l'air,....

Digitized by Google

La première partie de la phrase est conforme à la version chaldéenne, la seconde à la version des Septante.

Dans la version des Septante, on a ajouté ὃς et περι ὁν, pour Job le רוח n'est que l'air de Dieu qui l'entoure et qu'il respire. Le passage de la Genèse dans lequel il est dit que le רוח divin soufflé dans les narines d'Adam est le souffle de ses vies רוח חיים ne permet pas cette interprétation.

A כִּי est substitué μὲν. בֶּלְעוֹד est mal traduit par ὅτι ; voici le sens littéral : כִּי, au propre ὅτι, *que*, devient quelquefois interrogatif ou signifie *mais*. Dans cette phrase il signifie *parceque*. Et ce n'est pas une interprétation forcée, car nous trouvons ce même mot au verset 14 du 3e livre de la Genèse, avec la même valeur et il est impossible de lui en supposer une autre « Et l'Eternel dit au serpent : *parceque* tu as fait cela. » Dans le Livre des Juges, 13, 22. Manoah dit à sa femme certainement nous mourrons *parce que* nous avons vu Dieu. La valeur de כל est bien connue et n'admet aucune discussion, celle d'עוד, synonyme d'עֵד, est aussi claire; c'est, comme dans la Genèse, 8, 22. Jér., 13, 27. Ruth, 1, 14. Eccl., 3, 16, etc., un terme verbal qui signifie, en revenant, en réitérant et qui pris substantivement veut dire retour, réitération. Employé comme particule, il signifie, comme en chaldéen, encore, à l'avenir; en se servant du verbe pris substantiellement, on dira : *parce qu'en tout retour*, (de la vie); en se servant de la particule, on aurait pour

Digitized by Google

כָּל עוֹד ces équivalents (fidèles malgré leur latin incorrect) *quia in omni iterùm, in omni denuò, in omni ampliùs, in omniâ præterea, in omni adhuc.* — Il est facile de voir que saint Jérôme a été dans le doute au sujet de l'exactitude de la traduction des Septante ; il a traduit כִּי par *quia*, mais il n'a pas osé aller plus loin et a cru devoir admettre pour le sens d'עוֹד, une exception, il a traduit littéralement ἔτι par *donec*. — Tous les traducteurs ont aussi entendu diversement les mots חַי אֵל, les uns comme la formule de serment, si usitée chez les Israélites : Par le Dieu vivant, sur ma vie, aussi vrai que Dieu existe, aussi vrai que tu es vivant ; d'autres ont préféré, avec Sanctes Pagninus, le simple mot à mot : *vivens Deus ;* toutes ces variantes n'ont qu'une importance secondaire en elles-mêmes. Je n'en dirai pas autant de l'altération du sens de סוּר *il a reculé, différé,* ou de הֶשִׁיר, il *a fait différer, retarder*, on ne peut admettre en parlant de la justice divine ces expressions : Dieu m'a enlevé mon droit, Dieu n'a pas eu égard à mon droit, Dieu a écarté mon droit. מִשְׁפָּט est littéralement le *jugement*, la cause plaidée publiquement sur la place publique, ce n'est que par extension qu'il signifie le droit, la coutume. C'est un dérivé de שָׁפַט, il a jugé, d'où viennent aussi שֹׁפֵט, suffète, juge, שְׁפוֹט, jugement. Pour ce passage, la version de Sanctes Pagninus est donc préférable aux trois autres.

Digitized by Google

Pourquoi les Septante ont altéré le sens des versets 2 et 8, chap. XXVII, du livre de Job.

Comment les Septante ont-ils pu s'écarter ainsi du sens?

Le but des mystères, au rapport de Plutarque, de Cicéron et des Anciens en général était de fortifier la piété et de donner des consolations propres à faire supporter les misères de cette vie par l'espoir d'une vie à venir, toute de félicité et de bonheur. Le dogme de l'immortalité de l'âme était le grand secret des mystères les plus anciens; les prêtres égyptiens ne le révélaient qu'aux initiés parfaits. La divulgation de ce dogme paraissait dangereuse: on craignait qu'il rendît insouciant de la vie présente, qu'il favorisât la paresse en jetant l'homme dans la vie contemplative et qu'il nuisit à la prospérité de la société humaine. Nos idées diffèrent complètement de celles-là, et aujourd'hui nous regarderions comme le plus grand des malheurs, comme un immense danger de supprimer cette croyance. Mais il ne faut pas toujours juger ce qui a été par ce qui est.

La doctrine de Socrate qui enseignait que la mort n'est pas un mal, mais un passage à une vie plus heureuse, ne nous semble pas pouvoir offrir de danger, ou nous ne comprenons pas qu'elle en ait offert; et cependant il y eut des philosophes qui faisaient dans leurs leçons des démonstrations si vives et si fortes du bonheur de la vie à venir, que la plupart de leurs disci-

Digitized by Google

ples se faisaient mourir eux-mêmes pour courir au devant de ce bonheur. Ptolémée Philadelphe défendit à Hégias de Cyrène de parler de cette doctrine dans son école, de peur qu'il ne dépeuplât ses états ; les poëtes de la cour de ce prince entrant dans ses vues, comme cela n'est que trop ordinaire, n'oublièrent rien pour décrier ce dogme et ceux qui s'en laissaient prévenir. Ce fut cette pernicieuse complaisance qui produisit tout ce que nous lisons dans Callimaque contre l'immortalité de l'âme ; et surtout la célèbre épigramme que Cicéron prétend avoir été écrite contre Cléombrotus d'Ambracie, mais qui certainement est aussi écrite contre Platon. En voici le sens : « Cléombrotus d'Ambracie, après avoir » fait ses adieux au soleil, se précipita du haut d'une » tour dans les enfers ; ce n'est pas qu'il eût rien fait » (dans le grec *qu'il eût rien vu*) qui fût digne de la » mort : il n'avait fait que de lire le seul traité de Platon » de l'immortalité de l'âme. » (Lacour Aléim.)

IX.

Génie de Moyse. Etude de sa loi.

Un peuple n'a de valeur et de pouvoir sur la terre que par la pensée qui préside à son développement ; pour qu'une pensée puisse faire vivre un peuple pendant une longue suite de jours, il faut qu'elle touche d'une part dans les profondeurs de l'éternité aux bases inébranlables de la vérité absolue, et, de l'autre, qu'elle ait ici-bas

Digitized by Google

un idéal de perfection intelligible à la foule, un avenir prochain, un but mobile qui entraîne en avant les esprits et les cœurs. Et toujours cette pensée, cet idéal apparaît comme isolé dans la personne du législateur; ce n'est pas dans la réalisation plus ou moins complète de l'idée qu'il faut étudier le génie du maître, c'est dans sa loi. Plus la conception primitive est élevée, plus il faut de temps pour l'atteindre. L'extrême Orient n'a vu que bien rarement des hommes semblables aux types proposés par Yao et Confucius; les civilisations helléniques et romaines ne présentent qu'un petit nombre d'hommes semblables aux brillants modèles rêvés par les sages et les poëtes divins. On peut en dire autant de l'islamisme, et l'humanité tout entière peut marcher encore pendant des siècles et des siècles, avant de réaliser dans sa perfection l'idéal chrétien.

Pour comprendre le génie de Moyse, le רוח משה, étudions sa loi en elle-même. Nous y trouvons, comme dogme fondamental, l'*Unité de Dieu*, la prohibition absolue du culte des images, la défense non moins absolue du meurtre : *tu ne tueras pas*, la condamnation de toute pensée mauvaise, de tout sentiment d'envie; l'idéal d'une société de frères, vivant sans hiérocratie, sans aristocratie militaire ou monarchique, gouvernée par la loi de justice et reposant sur la sainteté de la famille, unique fondement de la durée des nations et sans lequel aucun empire ne peut subsister longtemps sur la terre.

Entouré de difficultés sans nombre, le législateur des

Digitized by Google

Hébreux n'a pu lui-même suivre d'une manière absolue sa propre loi, il a accordé à la faiblesse de son peuple un culte pompeux, des signes extérieurs, il a souvent cédé à la nécessité de frapper avec le glaive les adversaires qui menaçaient l'existence de son œuvre d'affranchissement et d'avenir. Mais au-dessus de ces défaillances, de ces luttes sanglantes, la loi planait immuable, inflexible. En vain le prophète du Sinaï avait eu ses jours de doute et de désespoir; en vain les enfants de Juda et d'Israël avaient abandonné Jéhovah pour les rois et les dieux étrangers, Isaïe rappelant le culte à sa pureté première, démontrait la supériorité du repentir et de l'adoration en esprit et en vérité sur les pompeuses cérémonies célébrées dans un temple qui ne peut contenir l'Être infini.

Et Jésus disait :

Ne croyez pas que je sois venu pour abolir la loi, je suis venu pour l'accomplir, jusqu'à ce que *le ciel* et la terre passent, il n'y a rien dans la loi qui ne s'accomplisse, jusqu'à un seul iota, jusqu'à un seul trait de lettre. La loi est tout entière dans ce précepte.

ואהבת את יי אלהיך בכל לבבך ובכל נפשך ובכל מאדך

Aimer de tout notre cœur, de tout notre esprit et de toutes nos forces le Père universel, aspirer vers sa perfection infinie, c'est le devoir, la gloire et le bonheur de l'homme et des Elohim ses frères.

Digitized by Google

Détermination du sens des mots *Schéol* et *Rephaïm.*

Cette prière, cette interrogation constante du Dieu suprême a lieu au siècle des siècles. Après la mort, l'âme fidèle aux inspirations de l'esprit divin, armée d'un corps glorieux, d'une נפש éthérée, se réunit aux ancêtres, au peuple de Dieu. C'est au sein du père des croyants (Abraham) que s'envolent, des différents points du monde où ils sont morts loin de la patrie terrestre, les âmes de Sara, de Jacob, d'Aaron et de Moïse lui-même. A la fête des tabernacles, les Israélites adressent encore à Dieu cette prière : Puisse son âme (en vue de ceci) être liée dans les faisceaux de la vie avec l'âme d'Abraham, de Sara, de Rebecca, de Rachel et de Léa, et des autres justes des deux sexes qui sont dans le paradis.

Cette âme vertueuse trouve sa récompense dans le développement de son amour, de son intelligence et de son activité ; dans la pénétration des lois et des volontés divines. Que devient l'âme qui s'est éloignée du Père céleste et dans laquelle a dormi, comme un glaive inutile, le *Rouah* de Jéhovah ? Cette âme se guérit, se régénère par le repentir, par le secours des âmes fraternelles et du médecin des âmes, par la recherche de Celui qui a dit : Je suis le souverain bien. C'est pourquoi le monde des âmes n'a qu'un nom שְׁאֵל, équivalent de שְׁאֵלָה, demande, prière, *petitio, rogatio, preces*, dérivés du radical chaldéen שְׁאֵל, il a demandé, il a interrogé et sy-

Digitized by Google

nonyme de l'hébreu שָׁאַל, il a proposé, il a demandé, il a scruté, il a consulté l'oracle divin (1). L'hiéroglyphe de ce mot est le guerrier qui reçoit la couronne et part victorieux pour vaincre encore. La vie céleste pouvait commencer sur la terre, ainsi qu'il arriva à Enoch et à Elie.

Le *Schéol* inférieur était le séjour des *rephaïm* רְפָאִים, que les traducteurs ont cru rendre par les mânes ou les *géants,* mais qui signifie les *faibles*, destinés au pardon, à la pénitence, à la guérison, à la régénération רְפוּאָה, מַרְפֵּא, רְפָאוֹת. Ainsi que le prouvent toutes les variantes de la combinaison רָפָא il a guéri, il a soigné, il a réparé, il a remis, il a pardonné, il a été pardonné; et ces noms, le médecin, les guéris, guérison, remède, restitution, lit de guérison, rémission, miséricorde, douceur de la pénitence, le repentir qui mérite le pardon. Hiéroglyphiquement, c'est la libération, la porte toute grande ouverte, l'évasion d'un mal qui nous avait terrassés et foulés aux pieds. Dans les passages suivants : Isaïe XXVI, 19, LXVI, 24. Job XXVI, 5. Prov. II, 18, IX, 18, XXI, 16, et dans le psaume LXXXVIII, 11, le mot rephaïm est détourné de son acception par les traducteurs. Dans le schéol supérieur, sous la garde du médecin des âmes, Raphaël, les œuvres des vertus brillent comme des fruits divins sur l'arbre de la vie éternelle, et ces fruits guérissent les nations.

(1) שָׁאַל reparaît 178 fois, dans la Bible, et toujours avec le même sens.

Digitized by Google

Car les nations meurent comme les individus quand elles laissent s'obscurcir la lumière qui est la voie, la vérité et la vie ; quand l'idéal du beau et du bon ne parle plus au cœur ; quand les pouvoirs divins, *beni Elohim,* se bornent à la conquête des jouissances matérielles, filles de l'homme terrestre (benouth Adam).

Alors les peuples, profondément déchus, tombent dans la fosse de l'esclavage et de la mort, et ces malheureux, désignés par le nom de נפלים, avortons, souffrent des peines cruelles jusqu'au jour où Dieu les prend en pitié et les console, véritable signification du mot וַיִּנָּחֶם ; il en eut pitié et les consola, *misertus est, solatus est,* dit la Genèse, car il est père, c'est lui qui a créé les hommes sur la terre ; expression sublime et digne du Dieu des miséricordes, et qu'on traduit d'une manière blasphématoire par : il se repentit d'avoir fait l'homme. Cependant toute la famille de la racine נחם se rapporte à l'idée de consolation : נחם il consola ; מנחם consolant, consolateur, il fut consolé, il se consola. נחם le repentir consolateur, la pénitence qui fait pardonner au coupable נחום נחמיה, les prophètes Nehémia et Nahum, les consolateurs. נחם a 73 fois le sens de consoler, de réparer, comment lorsqu'il s'agit de Dieu signifierait-il se repentir ?

Lorsqu'un mot, et surtout un mot théologique appartient à une langue étrangère, il se trouve isolé dans l'idiome du peuple qui l'a adopté. C'est ce qui est arrivé

Digitized by Google

dans les dialectes de la famille latine pour une foule de termes du vocabulaire sacré. Les noms hébreux y sont presque toujours isolés, ils n'y ont pas d'explication étymologique ; chacun d'eux, séparé de ses origines, n'a pas servi à la formation d'une série de mots par l'addition régulière des finales qui signifient ami de, enemi de, semblable à, fait de, agent de, lieu de, avoir, donner, destructeur de, privé de, plein de, faire, etc.

Les termes grecs, moins généralement inintelligibles, sont d'ordinaire moins stériles : à chaque radical se rattache un certain nombre de dérivés et de composés réguliers, surtout si le mot primitif a reçu des Romains ou de leurs fils un droit de cité déjà ancien. C'est parce que tout signe de la pensée porte avec lui ses titres de naissance, qu'on peut suivre dans le monde l'itinéraire des institutions et des découvertes.

Quand un mot possède, au contraire, une famille complète dans une langue ; quand il y a des ancêtres, des descendants ; quand il est conforme en tous ses éléments aux valeurs générales des racines premières, il faut bien admettre que l'idée appartient à cette langue et qu'elle a pris naissance au sein du peuple qui la parlait.

C'est encore par ce moyen qu'on peut se défendre des illusions que produisent les ressemblances des noms.

Ainsi, dans le Copte, les noms Teu-tat-ès, Taranis, ont des significations satisfaisantes analogues à celles qui leur sont reconnues dans les langues celtiques.

Digitized by Google

Mais les longues et naturelles séries de mots qui ont Teu-tat-ès ou Taran pour racine ne se trouvent que dans les langues celtiques ; donc les dogmes représentés par ces mots ont pris naissance chez les Celtes.

Si l'on néglige l'étude régulière des noms, on se perd dans des conjectures sans fin ; et, comme il y a des rapports nécessaires entre tous les systèmes religieux, on peut rapporter à chacun d'eux toutes les formes postérieures ou contemporaines.

Prenons pour preuve les recherches sur la formation des dogmes relatifs à la nature, à la destinée des âmes et à la fin de l'univers. Ont-ils été empruntés par les Israélites aux Chaldéens et aux Perses ? La théologie de l'Avesta a certainement des coïncidence frappantes avec le judaïsme des derniers temps et surtout avec le christianisme. Cinq hypothèses se présentent pour expliquer ce fait :

1° L'existence d'une tradition primitive commune aux deux peuples ;

2° Un emprunt fait par les Juifs à la religion des Perses ;

3° Un emprunt fait aux idées juives par la doctrine de Zoroastre ;

4° Une tentative de conciliation entre les principales croyances du vieux monde, une sorte de coalition des anciens cultes vaincus par la loi nouvelle après trois siècles de combats, lorsque l'Inde et la Perse, Alexandrie et Babylone remaniaient leurs livres sacrés, publiaient

Digitized by Google

sous une forme profane leurs anciens mystères et revendiquaient l'antique possession des vérités que les chrétiens présentaient comme des révélations du fils de Dieu ;

5° Enfin le concours de toutes ces causes réunies.

X.

Nous venons de voir quel était dans sa grandeur primitive le dogme de l'immortalité de l'âme à l'époque patriarchale. Telle fut longtemps la croyance unanime des peuples, nous en retrouvons la trace dans les rituels des Egyptiens et des Hébreux, dans les premières traditions de l'Orient et de l'Occident.

Comment, de l'idée sublime de ce paradis, les Israélites passèrent-ils à la doctrine d'un Eden matériel semblable aux îles fortunées des Grecs, à la transmigration עאלין ב גלגולא, et même à la pensée de l'anéantissement, comment le texte si clair de la Genèse *devint-il* si ténébreux ? L'étude de ce fait montrera la sagesse de cette parole de Thot ou Hermès : Le savoir, l'amour et le pouvoir sont l'image de la trinité divine, au sein de l'humanité; rien ne peut les séparer, leur union est la vie.

Si l'homme, oubliant qu'il est intelligence et puissance physique bornée, se livre sans règles aux impulsions du Rouah Adam, du sentiment et de l'imagination ; s'il va comme son cœur le mène, suivant le regard de ses yeux, il y aura sans doute une grande force en lui, mais

Digitized by Google

il sera exposé à tomber dans tous les égarements du mysticisme. Dédaignant le réel, il s'élancera dans un monde fantastique, et tandis que livré aux folles pratiques de la théurgie et de la magie, il voudra soumettre les anges et les démons à son pouvoir, les enfermer dans les telsem et les théraphim ; tandis qu'il osera évoquer les ombres des morts pour les forcer à lui révéler l'avenir et les secrets des cieux et des enfers, il deviendra sourd à la voix divine du Rouah éternel, au Verbe qui parle au fond d'un cœur paisible et pur, sans aucun bruit de paroles ; et, pour avoir cherché dans les espaces imaginaires le vain empire des fantômes, il perdra l'héritage glorieux d'Adama et la conquête éternelle du royaume de Dieu.

Par cette témérité, par cet envahissement des mondes intermédiaires, l'unité primitive du monothéisme se perdit chez la plupart des nations antiques au sein d'un polythéisme illimité, aboutissant parfois à un fétichisme ridicule et trop souvent aux désordres des sens et aux rêves impurs de la démonomanie.

Par cette large voie semée de prestiges trompeurs et et de dangers mortels, s'égarèrent les Casdaïm *(quasi dæmones)*, les Kabbalistes pratiques, les Zélateurs, les Asséens, les Esséniens et les Chassidim.

Ce que ces enthousiastes comprenaient le mieux dans Moïse, c'est le dévouement qui lui fait quitter la cour de Pharaon pour aller consoler son peuple ; c'est le mouvement irrésistible qui l'entraîne à défendre ses frères es-

Digitized by Google

claves, à exterminer leurs tyrans ; c'est l'élan généreux avec lequel il combat et chasse les pâtres du désert, oppresseurs des filles de Jéthro.

Ce que les Asséens enviaient surtout au Prophète, c'était le pouvoir de commander aux éléments, de vaincre par des prodiges les hiéroglyphistes et les scribes sacrés du Seigneur des écritures magiques, et d'exercer sur les génies une autorité plus grande que celle de Joseph et de Salomon.

La réunion aux ancêtres, l'éternelle ascension dans l'amour, la science et le pouvoir de Dieu, l'échelle de Jacob, le Schéol de Moïse étaient des images trop vagues et trop élevées pour l'Asséen. Il lui fallait sur l'autre vie des détails circonstanciés que le prophète ne donnait pas, ne voulait pas, ne pouvait pas donner; aussi, combinant les traditions sémitiques de l'Eden, la réalité des *pardes*, paradis ou jardins secrets des rois voluptueux de Ninive et de Babylone, et surtout les îles fortunées des Egyptiens, telles que les avaient chantées la muse d'Homère, les Asséens rêvaient des Champs Elyséens, situés aux confins de la terre, où règne le blond *Rat-Amenti;* là point d'hiver, point de frimats; partout circule un air serein qu'environne le plus brillant éclat; les dieux fortunés s'y réjouissent sans cesse au milieu des concerts et des chants célestes de l'éternel banquet des élus.

Malgré cet emprunt aux croyances étrangères, les Esséniens restèrent plus fidèles au dogme primitif que les autres sectes juives, et n'admirent ni la transmigration

Digitized by Google

des âmes, ni le triple retour sur la terre, ni l'imprégnation psychique. Leur espérance d'une immortalité bienheureuse les rendait invincibles. Ils méprisent les maux de la terre, dit Josèphe, ils triomphent des tourments par leur constance ; pour l'honneur, ils préfèrent la mort à la vie. La guerre des Romains a fait éclater en mille manières leur constance inébranlable ; ils ont supporté le fer et le feu sans répandre une larme au milieu des supplices, sans prononcer un mot pour fléchir les bourreaux. Au contraire, ils se moquaient d'eux, se regardant avec un calme sourire, et rendaient l'esprit avec joie, parce qu'ils croyaient fermement passer de cette vie dans une vie bien-heureuse et éternelle.

Cependant cette noble ardeur, cette foi profonde, ce courage invincible n'aurait pas suffi à faire vivre Israël ; ce n'était qu'une partie de l'esprit de Moïse, du רוח משה.

Une partie plus importante sans doute, mais encore insuffisante de cet esprit de vie, résidait au sein de la secte orgueilleuse des séparés, *nibdalim*, des purs, des initiés, du partage de Dieu, פרשים.

Mais si l'homme cherche à vivre seulement par l'intelligence, il étouffe bientôt, comme des passions dangereuses, les plus légitimes aspirations de son cœur ; exagérant la doctrine de la chute au point d'oublier les promesses de la rédemption et de la miséricorde céleste, il maudit, il mutile, il tue son corps. Ce corps, chef-d'œuvre de l'artiste divin, temple du Rouah, de l'Esprit

Digitized by Google

créateur, sanctuaire de l'inspiration de Jéhovah; ce corps, ombre des Elohim, et qui doit ressusciter glorieux pour une existence sans fin, ne parait plus à l'esprit qu'un étroit et sombre cachot. Souvent même, insensible aux merveilles de la création, loin de les admirer, de les saluer avec joie à l'exemple des anges, comme des manifestations de la Toute-puissante Bonté, le Pharisien s'en éloigne avec une superstitieuse terreur; elles lui semblent un piége fatal, l'illusion funeste qui asservit les âmes.

Il se rapprochait en cela de l'antique doctrine égyptienne exposée ainsi au livre de Thot:

Le Père, à la fois intelligence suprême et lumière vivante, créa l'homme à sa ressemblance et se complut en lui comme en son fils.

Et l'homme était beau et présentait l'image de son Père.

Dieu, prenant plaisir à voir cet être formé d'après la divine nature, lui permit d'user de toutes les œuvres de la création.

L'homme, ayant contemplé dans son Père céleste la puissance créatrice, voulut aussi créer. Ainsi, de la sphère de la contemplation du Père, il descendit dans la sphère de la génération. Comme il avait en lui une puissance sur toute la création, il étudia les œuvres des sept esprits de Dieu. Ceux-ci, joyeux de voir l'âme humaine les contempler, lui cédèrent chacun une part des attributs de son ordre. Après avoir appris quelle est leur essence

Digitized by Google

et leur nature propre, l'homme voulut pénétrer et analyser ce qu'entourent les cercles des cieux et comprendre la puissance de l'agent, de l'Elohim, qui préside au feu. Alors celui qui avait le gouvernement absolu des animaux mortels et sans raison du monde, s'éleva à travers les rapports harmoniques, pénétrant et déliant les puissances des cercles des cieux; il montra la *nature inférieure* comme une belle forme de Dieu. Et l'homme, voyant que la nature inférieure, le monde matériel, était douée d'une beauté sublime, qu'elle réunissait en elle toutes les images des sept attributs divins et l'image du Dieu suprême, lui sourit dans l'enivrement d'un profond amour, comme s'il avait trouvé dans les eaux et sur la terre le reflet, l'ombre de la beauté humaine; voyant ensuite *en lui-même* une forme semblable à lui, il l'aima et désira s'unir à elle réalisée hors de lui. Sa volonté fut accomplie: il fit naître une forme qui n'était pas douée de raison, le *corps*.

Et le monde matériel, la nature, embrassant avec amour ce qui était en rapport avec elle, s'élança tout entière et se mêla à la nature humaine. C'est pourquoi l'homme est, de tous les êtres animés terrestres, le seul qui ait en soi deux natures: une nature mortelle qui est le corps; une immortelle qui est l'âme, la substance propre de l'homme, qui lui donne l'empire sur les autres créatures. Tout ce qui est vivant est soumis à des lois immuables; dès que l'homme, né plus grand et plus excellent que le monde, fut tombé dans ce monde, il fut

Digitized by Google

exposé aux dangers et réduit en servitude. — Soumis à des influences funestes, il fallut que l'homme se connût lui-même pour reconquérir le bien qui est au-dessus de l'état actuel, et quiconque se laissa dominer par l'amour du corps, erra dans les ténèbres de la mort, parce que, l'amour du corps l'ayant enveloppé d'une ombre fatale, il en sortit une nature moins noble, et le corps s'est arrêté dans le monde des sens d'où la mort s'est élevée.

Piromi révèle ainsi le mystère de la destinée humaine :

Je suis en quelque sorte l'Intelligence, l'âme des hommes qui sont bons, purs, religieux et saints. Ma présence les protége ; du premier coup d'œil ils savent tout discerner. Ils ont en moi un père qui les favorise ; c'est pourquoi ils me rendent grâces par de pieuses bénédictions et par des hymnes solennels. Ils abandonnent leur corps à la mort, qui est son partage ; ils méprisent les séductions des sens, car ils savent qu'elles sont dangereuses et mortelles. Et moi, l'Intelligence divine, semblable à un pasteur vigilant, je ne permets pas aux tentations de la chair de parvenir à leur but ; je ferme aux honteuses amorces leur route accoutumée, et j'éteins le foyer des mauvaises passions.

Mais je suis loin des ignorants (de ceux qui ne se connaissent pas), des méchants, des lâches, des envieux, des injustes, des homicides et des impies. Je les livre au caprice d'un esprit vengeur qui les frappe d'un aiguillon

Digitized by Google

de feu, afflige leurs sens; il excite l'homme au mal pour le rendre, par de plus grands forfaits, passible de plus affreux châtiments; il attise sans relâche des passions insatiables, combat dans les ténèbres contre le pécheur, tue son âme et augmente prodigieusement son supplice par le feu du mauvais désir et du remords désespéré. — Quand l'âme, dégagée des liens du corps, s'élève à l'autre vie, la séparation des parties matérielles détruit le corps ; sa forme, devenue insensible, disparaît ; les habitudes désormais inutiles restent, dans leur principe, l'instinct général de conservation ; les sens corporels redevenus spirituels refluent vers leur source et conservent la faculté de produire les actes qui leur sont propres ; les forces d'attraction et de répulsion restent dans la matière sans raison. Ce qui survit de l'homme après cela s'élève à travers les mondes, déposant à la première sphère le pouvoir de croître et de décroître ; à la seconde, le pouvoir inutile de nuire par la force ou par la ruse ; à la troisième, les déceptions de la concupiscence ; à la quatrième, l'ambition insatiable ; à la cinquième, l'arrogance profane et la témérité ; à la sixième, les biens passagers et inutiles ; à la septième, l'erreur et le mensonge. Alors l'esprit, délivré de l'influence du monde, retourne à sa nature désirée, recouvre la force qui lui est propre et loue le Père avec ceux qui ont reconquis l'héritage céleste. Tous ces esprits s'élèvent au nombre des puissances du ciel, et, comme tels, jouissent de la présence de Dieu. C'est là le souverain bien, c'est devenir en quelque sorte un Dieu.

Digitized by Google

Voilà ce que nous apprennent à cet égard les rituels égyptiens, vieux de quatre mille ans, et les figures sans nombre déposées dans les caisses des momies et sur les monuments impérissables élevés à Memphis, à Thèbes, à Karnac et dans l'oasis d'Ammon par les quinze dynasties antérieures à Abraham (2270 avant J.-C.), et les dix-huit dynasties antérieures à Moïse (1725 av. J.-C.).

La tradition du livre de la lumière se rapproche beaucoup de la tradition égyptienne. Avant d'avoir péché, Adam n'écoutait que cette sagesse dont la lumière vient d'en haut; il ne s'était pas encore séparé de l'arbre de vie. Mais quand il céda au désir de connaître les choses d'en bas et de descendre au milieu d'elles, alors il en fut séduit, il connut le mal et oublia le bien ; il se sépara de l'arbre de vie. Avant cette faute, ils entendaient la voix d'en haut, ils possédaient la sagesse supérieure, ils conservaient leur nature lumineuse et sublime. Mais après leur péché, ils cessèrent même d'entendre la voix d'en bas. Lorsqu'Adam, notre premier père, *habitait le* jardin d'Eden, il était vêtu comme on l'est dans le ciel, d'un vêtement fait avec la lumière supérieure. Quand il fut chassé du jardin d'Eden et obligé de se soumettre aux nécessités de ce monde, Dieu, nous dit l'Ecriture, fit pour Adam et pour sa femme des tuniques de peau dont il les vêtit : car auparavant ils avaient des tuniques de lumière, de cette lumière supérieure dont on se sert dans l'Eden. Les bonnes actions que l'homme accomplit sur la terre font descendre sur lui une partie de cette lu-

Digitized by Google

mière supérieure qui brille dans le ciel. C'est elle qui lui sert de vêtement quand il doit entrer dans un autre monde et paraître devant le Saint, dont le nom soit béni! C'est grâce à ce vêtement, qu'il peut goûter le bonheur des élus, et regarder en face le miroir lumineux de la vérité.

L'Evangile parle souvent de cette lumière des bonnes œuvres ; que votre lumière brille devant les hommes, dit Jésus ; il parle aussi de la gloire des élus ; ceux qui ont instruit les autres, dit saint Paul, brilleront dans le ciel comme des étoiles.

Suivant le Zohar, le même fait de la chute se renouvelait sans cesse. Tous ceux qui font le mal dans ce monde ont déjà commencé dans le ciel à s'éloigner du Saint, dont le nom soit béni ! ils se sont précipités à l'entrée de l'abîme et ont devancé le temps où ils devaient descendre sur la terre. Telles furent les âmes avant de venir parmi nous. « Mais toutes les âmes qui se sont éloignées librement de Dieu doivent y retourner librement, toutes sont soumises aux épreuves de la transmigration. » עאלין בגלגולא et les hommes ne savent pas quelles sont à leur égard les voies du Très-Haut ; ils ne savent pas comment ils sont jugés dans tous les temps, et avant de venir dans ce monde et lorsqu'ils l'ont quitté ; ils ignorent combien de transformations et d'épreuves mystérieuses ils sont obligés de traverser ; combien d'âmes et d'esprits viennent en ce monde qui ne retourneront pas dans le palais du Roi céleste ; com-

Digitized by Google

ment enfin ils subissent des révolutions semblables à celles d'une pierre qu'on lance avec la fronde.

Au moyen de cette doctrine de la préexistence et de la transmigration, les Pharisiens concilièrent la liberté avec la destinée de l'âme et la toute-puissance divine.

Ils évitèrent le dualisme exagéré, la sombre théorie du mal absolu, ils ne tombèrent pas dans le panthéisme spiritualiste comme les apôtres du Nirvana, de l'anéantissement en Dieu; ils conservèrent quant au fond la croyance du Schéol des Rephaïm.

Mais ils tendaient à former comme les prêtres d'Osiris, et contre l'intention expresse du Législateur, une hiérocratie puissante, orgueilleuse, habile à dominer la foule, à substituer la lettre à l'esprit, à mettre la lumière sous le boisseau. Nous savons avec quelle énergie saint Jean-Baptiste et Jésus lui-même se sont élevés contre eux et de quels noms injurieux ils les ont flétris. Les talmudistes ne les ménagèrent pas davantage, ils les comparent aux Sichémites acceptant la circoncision dans un intérêt matériel; ils leur reprochent de s'abstenir du mal non par amour du bien, mais par l'espoir des récompenses ou la crainte des châtiments proposés par la loi. Ils nous montrent le Pharisien hypocrite heurtant ses pieds contre les pierres, dans la marche traînante que lui fait affecter une fausse humilité; ils nous le montrent ensanglantant son front contre les murs lorsqu'il se détourne en fermant les yeux pour ne pas voir les femmes qu'il rencontre, ou marchant courbé en deux

Digitized by Google

dans la crainte de heurter les pieds de Dieu, qu'il disait planer au-dessus de la terre à la hauteur de quelques coudées. סוטה, Sota, fol. 22, 16.

Avant de tomber sous les traits du ridicule, les Pharisiens avaient formé une secte longtemps honorée et justement honorée. Leur sobriété, l'austérité de leurs mœurs, leur profond respect pour les vieillards, leur persévérance dans les entreprises raisonnables étaient un sujet d'admiration. Saint Paul se glorifiait d'être Pharisien et fils de Pharisien. Ils étaient en général animés d'une foi sincère. Ils possédaient le trésor des traditions orales, ils étudiaient avec ardeur la théologie hébraïque et plus tard ils s'appliquèrent avec succès à la philosophie gréco-égyptienne. Au jour terrible de l'expiation, ils luttèrent contre Titus avec un courage aussi indomptable que celui des zélateurs; comme les Esséniens ils triomphèrent des plus horribles tortures, leurs enfants même livrés aux bourreaux qui les pressaient de donner à César le titre de Seigneur, mouraient en disant : Jéhovah seul est mon roi !

Ce que les Pharisiens admiraient surtout dans Moïse et ce que plusieurs d'entre eux cherchèrent à acquérir, c'est la connaissance profonde de l'homme et du monde, la science infinie d'une législation qui faisait vivre un peuple dans des conditions où tous les autres périssaient.

Durant les longues épreuves du moyen âge, les Pharisiens délivrés de leurs exagérations ridicules, de leurs

Digitized by Google

vues ambitieuses, redevinrent ce qu'ils avaient été aux premiers jours ; chaque fois qu'une lueur de liberté leur permit de se montrer au jour et de se faire entendre, on vit qu'ils n'avaient pas dégénéré, et l'histoire conserva les noms du philosophe Ben-Maimon et de l'astronome Isaac-Ben-Sid, rédacteur des tables alphonsines.

Aux jours du péril ils s'attachaient à la loi et aux traditions avec l'opiniâtreté désespérée du naufragé qui se cramponne à la planche de salut. Ils maudissaient avec fureur ceux de leurs frères qui semblaient faiblir. L'orgueil, la dureté pharisaïque se développait dans la lutte et l'on va jusqu'à dire qu'il est admis chez les thalmudistes que si un chrétien et un caraïte (contempteur de la loi orale), étaient en danger de se noyer, un rabbaniste devrait pour sauver le premier lui faire un pont avec le corps du second.

Cependant dans cette secte douée d'une si grande énergie vitale, il n'y avait pas encore aux derniers temps d'Israël, les conditions nécessaires à une existence complète ; il y en avait moins encore dans la majorité, de jour en jour plus nombreuse, qui professait hautement le matérialisme.

Si l'homme n'admet que la vie physique, pour lui la science est un tourment d'esprit, la vertu une folie, la providence un rêve, l'immortalité de l'âme une hypothèse inutile et dangereuse. Dieu étant incapable de faire le mal, ne prend pas garde à ce que font les hommes. Concilier avec la prudence de l'intérêt bien en-

Digitized by Google

tendu, la possession de tous les moyens possibles de jouir, voilà certainement la véritable science, la sagesse de Salomon, la véritable loi de Dieu, car il est impossible de la violer sans s'exposer à des ennuis, à des périls certains. Les nombreux sectaires qui suivaient ce précepte se faisaient gloire d'être des serviteurs intéressés du Seigneur, ils se donnaient le titre d'amis de la paix, d'honnêtes gens, de justes par excellence צדוקים.

Ce nom significatif, Saducéen est un nom historique. A la tête des premiers exilés qui revinrent de Babylone, marchaient Zorobabel, fils de Schéalthiel, appartenant à la maison de David et Jésuah, fils de Jéhozadak, de la maison pontificale de *Zadok*, descendant d'Aaron (Esds. III, 2).

Ce Zadok avait aidé puissamment Salomon à établir au sein d'Israël la royauté absolue en concentrant la tribu lévitique à Jérusalem, en formant une aristocratie sacerdotale dirigée par un pontife héréditaire. Mais le fils de David ne tarda pas à subir la peine de tous les despotes qui ont voulu enchaîner une puissance spirituelle et la dominer par l'appât des intérêts temporels, il se sentit menacé par la force dont il avait cherché à se faire un instrument de règne. Pour garantir lui et sa race de l'ascendant croissant des fils de Zadok, il leur opposa les prêtres de Bahal, d'Astarté et de Moloch, le Dieu des rois. Il donna ainsi le signal d'une lutte sans fin, qui amena la séparation des tribus, l'affaiblissement et la ruine d'Israël et de Juda.

Digitized by Google

Parmi les Saducéens, quelques-uns ne niaient pas d'une manière absolue l'immortalité de l'âme ; mais ils disaient qu'il fallait l'oublier pour faire le bien sans intérêt. Cependant ce n'était pas l'opinion de la majorité de la secte telle que nous la représentent les Évangiles et Flavius Josèphe.

Sans doute, disait le Saducéen, la liberté serait agréable et la science pourrait augmenter les moyens de plaisir ; mais avant tout la richesse et la paix. Je bénirai quel qu'il soit le maître qui me les conservera, que m'importe qu'il s'appelle *Pharaon, Cohen, Melec, Sar, Basileus* ou *Imperator,* qu'il adore le soleil, l'aigle ou le veau d'or. Ce que je veux, moi, c'est manger et boire tranquillement sous ma vigne et mon figuier, et le soir avant de m'endormir, compter les sicles échangés contre mon huile et mon vin par les marchands de Sidon, de Tadmor et d'Alexandrie.

Le Saducéen redoutait comme un grave danger le sentiment national, l'esprit belliqueux de l'Assidéen, l'attente fiévreuse du Messie libérateur et vengeur, l'envahissement des communautés esséniennes. Il craignait moins l'intolérance et l'orgueil dominateurs des Pharisiens ; pour leur plaire, il savait user d'hypocrisie, affecter un zèle enthousiaste, un respect minutieux pour toutes les cérémonies du culte publique, pour toutes les ordonnances de la loi et de la tradition. Il parvenait ordinairement à tromper le peuple et l'habileté, le savoir faire et la richesse lui ouvraient le chemin des honneurs. (Caïphe était Saducéen).

Digitized by Google

Rien n'était plus odieux à cette secte que les visions du *Ra* et les aboiements du *Nabi*, que les cris menaçants de ces audacieux qui ne craignaient pas d'avertir, de menacer les rois et les nations, de prêcher aux peuples l'avénement du règne de Dieu, le jugement et la vie éternelle. Depuis Abel jusqu'à Jésus de Nazareth on avait toujours immolé au salut public ces pernicieux ennemis de la tranquillité domestique et de la paix extérieure. Après en avoir fait justice, on avait commis une grave imprudence en conservant leurs prophéties. Il fallait les laisser tomber dans l'oubli avec le fatras de la tradition, avec toutes les folies relatives à l'existence de l'âme et des esprits.

Ainsi fut brisée la grande unité de la tradition patriarchale, ainsi fut méconnu l'enseignement du Législateur

Individualités perdues au milieu de ces trois grandes divisions, flottaient, ballottés comme des brins d'herbe au choc des courants contraires, les sceptiques, les indécis, et les rares partisans d'un électisme impossible que les historiens ont vainement essayé de rattacher à 28 formules.

C'est aussi vainement qu'on a voulu assigner une date à la formation de chacune de ces opinions; elles ont pris à telle ou telle époque un nom devenu historique, mais elles existent dès le commencement de l'humanité, sous des noms différents et plus ou moins puissantes suivant les temps et les lieux, elles existeront jusqu'à la fin du monde actuel; car partout l'homme est l'homme.

Digitized by Google

Les vieux commentateurs sont plus près de la vérité qu'on ne l'imagine quand ils font avec le targum de Jérusalem remonter l'origine des grandes sectes jusqu'à Adam et disent que Caïn proclama le premier le matérialisme lorsqu'il s'écria en frappant Abel : Non, il n'y a ni jugement, ni juge, ni vie future, ni récompense du bien, ni châtiment du mal!

עני קין ואמר להבל אחוי לית דין ולית דיין
ולית עלם אחרון ולא למתן אגר טב לצדיקיא
ולא לאתפרע מן רשיעיא.

Le plus ancien des livres sémites, le livre de Job n'est qu'une discussion sur l'immortalité de l'âme entre les défenseurs du dogme ancien et les représentants des opinions contraires.

Aujourd'hui même l'homme qui saura maintenir un juste équilibre entre ses facultés et vivre pleinement de sa triple vie pourra seul comprendre d'une manière complète la théorie universelle de l'humanité primitive.

Il pourra comprendre l'unité de l'œuvre de Moïse, et s'étonnera qu'on ait pu la contester. On l'a niée cependant et la dispute qui s'est élevée à ce sujet, et qui dure encore, n'est pas nouvelle.

XI.

Moïse est-il l'auteur du Pentateuque.

Spinoza, l'un des premiers, fit les remarques suivantes : Certains lieux ne sont pas désignés dans le Pentateuque

Digitized by Google

par les noms qu'ils portaient au temps de Moïse, mais par des noms qu'ils ne reçurent que longtemps après. Ainsi, il est dit : Abraham poursuivit les ennemis jusqu'à Dan (Gen., XIV, 14), et cette ville ne reçut ce nom qu'après la mort de Josué (Juges, XVIII, 29). On y raconte la mort de Moïse (Deut., XXXIV). Il est parlé de lui comme d'un prophète que personne n'a égalé en Israël (Deut., XXXIV, 10). Certains passages font mention de la monarchie (Gen., XXXVI, 31). D'autres font remarquer que des villes antiques existent encore. D'autres enfin donnent des explications historiques de faits anciens (Gen., XII, 6; XIII, 7; XIV, 2; XXIII, 2; XXXV, 19) (Exode, XVI, 36. Deut., III, 20).

Ce qui est plus grave, la révélation de la loi écrite est racontée dans le même livre de deux manières : dans l'Exode XX, 1 — 17, Dieu l'énonce verbalement; dans l'Exode, XXIV, 12 et XXXI, 18, il la grave. Il y a aussi deux récits de la création. Aucun livre de la bible ne rappelle, même par une allusion, les faits si importants de la chute d'Adam, du déluge et de la dispersion de Babel.

Spinoza et Richard Simon attribuent le Pentateuque à Néhémie appelé par saint Jérôme, *instaurator Pentateuchi*. Lacour l'attribue à Josias et à Elcias, 624 ans avant Jésus-Christ, ou même à Esdras après le retour de la captivité, plus de 900 ans après Moïse et moins de 500 avant Jésus-Christ.

De ces observations il résulterait simplement les faits suivants : dans le livre de Moïse, des notes ont été con-

Digitized by Google

fondues avec le texte par la négligence des copistes, mais il est facile de les en séparer.

Moïse s'est aidé de traditions et d'ouvrages antérieurs, pour la rédaction du Pentateuque. Le prophète l'avoue lui-même; le Pentateuque cite comme des autorités le livre des guerres de Jéhovah (Nomb. XXI, 14), le livre du Juste (Josué, X, 3), les victoires sur Amalec (Ex., XVII, 14), le livre des alliances et celui des origines. Il y a eu depuis Moïse jusqu'aux Massorètes, bien des révisions du texte mosaïque, il y en a eu de très-importantes sous les Machabées, sous Josias et Esdras. Mais ces faits ne démontrent pas que le Pentateuque ait eu d'autre auteur que Moïse. Une remarque plus importante a été signalée plus récemment.

Astruc fit observer le premier la contradiction des noms *Elohim* et *Jehovah*, les dieux et le Dieu unique (Conjectures sur les mémoires originaux dont il paraît que Moïse s'est servi pour composer le livre de la Genèse, Brux., 1753).

Eichorn (Einleitung im alte Testament, Repertorium für biblische und morgenländ. Litteratur. Vater Commentar. über des Pentateuch). De Vette, Cœlhm et Bohlen développent les conséquences de ces deux termes contradictoires, *Elohim* et *Jehovah;* ils cherchent à déterminer l'époque des différents livres; à refaire l'histoire de la lutte de l'Elohisme et du Jéhovisme et celle de leur conciliation probable après la ruine de Samarie, et dans un intérêt tout politique.

Digitized by Google

Cette hypothèse aurait des conséquences très-graves. Que deviendrait l'unité de doctrine? L'importance de la Bible comme source historique? Que deviendrait le Législateur lui-même?

Détermination du sens des mots Jéhovah Elohim.

Ici encore, tout peut se ramener à une question de philologie. Quel est le vrai sens du mot *Elohim*, pourquoi Moïse désigne-t-il son Dieu par un nom pluriel, les *dieux?* Que signifient ces mots contradictoires bizarrement accouplés, *Jéhovah-Elohim?*

Les commentateurs et les lexicographes ont fait beaucoup de raisonnements et n'ont donné aucune bonne raison pour excuser ce terme qui nous étonne dans l'œuvre de l'apôtre du monothéisme.

On a prétendu que le pluriel était employé, en cette occasion, pour le singulier, comme une marque d'excellence, *ad summam majestatem et singularem gloriam indicandam* ou même *ob trinitatis mysterium;* mais *Elohim* n'est pas le seul mot que l'on trouve au pluriel avec un verbe au singulier, on remarque cette particularité pour les mots *Bahalim* et *Adonaïm*, les maîtres, *tsebaoth* ou Sabaoth, les armées; *behemoth*, les bêtes de la terre.

Ainsi la Bible dit : si un bœuf a coutume de frapper de la corne et qu'on ait prévenu *ses maîtres* et qu'il ne l'ait pas gardé et que ce bœuf tue quelqu'un, ses maîtres

Digitized by Google

mourra. Eliézer mit sa main sous la cuisse d'Abraham, de *ses maîtres ;* les *bêtes de la terre* a crié ; vos *maîtres* est mort ; les maîtres de cette terre a dit.

Ce pluriel indique simplement que le substantif est collectif, ou abstrait, ou indéterminé, pris en général ; souvent employé avec sa désinence féminine וֹת, il est analogue aux finales *udo*, *itus* etc., en latin, qui ont leurs équivalents dans toutes les langues à flexion. On peut traduire *Bahalim* et *Adonaïm* par l'autorité, *Behemoth* par l'animalité, *Sabaoth* par la force armée, de même on pourrait traduire *Elohim* par la divinité. On a dit aussi que l'on pouvait sous-entendre, ce qui est, ou celui qui est ; Fabre d'Olivet traduisait *Elohim* par *lui-les-dieux*. Mais avec ces systèmes on ne peut guère comprendre ce que sont les *béni Elohim* de la Genèse et de Job, ni les nombreux passages où Elohim ne désigne pas la Divinité, le Dieu suprême mais un agent inférieur de la Providence, un ange, un juge, un héros, un prince de la terre, dans le sens propre, un bélier conducteur ; on serait également embarrassé quand *Elohim* signifie un des dieux, un Dieu quelconque, ou même une idole, un veau d'or.

Ces difficultés disparaissent devant une étude sérieuse de l'antiquité, qui nous révèle combien est vaste et complète la doctrine religieuse des Abrahamites.

Les principaux noms de Dieu signifient l'Etre suprême, l'Etre absolu, *Celui qui est*, cependant il est impossible de dire que Moïse était panthéiste, puisqu'il fait sans

Digitized by Google

cesse appel à la liberté morale et qu'en disant que Dieu mit en l'homme un souffle divin, il a soin d'ajouter que ce souffle, cette âme avait sa vie propre, particulière, individuelle, que c'était un *nichemat chajim,* chaque animal a sa *néphesch chaja,* son âme inférieure mais vivant aussi d'une vie propre et dès le premier chapitre de la Genèse on ne peut penser au *Deum ire per omnes.*

L'idée de l'Etre infini est amoindrie dans les masses et réduite à la notion vague d'un *pur Esprit.* Tel n'est pas en réalité le dogme chrétien. Fénelon dans son *Traité de l'existence et des attributs de Dieu,* s'exprime en ces termes :

« Moïse ne dit point : Celui qui est esprit m'a envoyé » vers vous ; il dit : *Celui qui est.* Celui qui *est* dit infi- » niment davantage que *Celui qui est esprit.* Celui qui » est esprit n'est qu'esprit : Celui qui est, est tout être, » et est souverainement, sans être rien de particulier. » — Il n'est non plus esprit que corps. S'il était esprit, » c'est-à-dire, déterminé à ce genre particulier d'être, » il n'aurait aucune puissance sur la nature corporelle, » ni aucun rapport à tout ce qu'elle contient ; il ne pour- » rait ni la produire, ni la conserver, ni la mouvoir. » Mais quand je le conçois dans ce genre, que l'école » appelle transcendant et que nulle différence ne peut » jamais faire déchoir de sa simplicité universelle, je » conçois qu'il peut également tirer de son être simple » et infini, les esprits, les corps et toutes les autres es- » sences possibles qui correspondent à ces degrés infinis

Digitized by Google

» d'être.— Pourquoi donc dit-on que Dieu est un esprit?
» d'où vient que l'Ecriture même l'assure? C'est pour
» apprendre aux hommes grossiers que Dieu est incor-
» porel, et que ce n'est point un être borné par la nature
» matérielle : c'est encore dans le dessein de faire en-
» tendre que Dieu est intelligent comme les esprits et
» qu'il a en lui, tout le positif, c'est-à-dire, toutes les
» perfections de la pensée, quoiqu'il n'en ait pas la borne.
» — Dieu est véritablement en lui-même tout ce qu'il
» y a de réel et de positif dans les esprits, tout ce qu'il
» y a de réel et de positif dans les corps, tout ce qu'il y
» a de réel et de positif dans toutes les autres créatures
» possibles dont je n'ai point d'idée distincte. »

De même Moïse, sans être pour cela polythéiste, considérait Dieu comme l'unité, l'*ipséité*, le *Jehovah échad* renfermant des personnes, des attributs divins, des puissances, des forces divines, et de plus il admettait au-dessous du Dieu suprême un nombre indéfini d'esprits inférieurs, d'agents providentiels, célestes et terrestres, anges, âmes bienheureuses, prophètes, rois, héros, poëtes et artistes, tous désignés par le mot Elohim, les forces, les béliers conducteurs, les assesseurs, les messagers de l'Etre suprême.

Dans ce sens les dieux des nations qu'ils fussent des personnifications d'attributs divins, des puissances sidérales ou des héros déifiés étaient des serviteurs de la volonté du vrai Dieu, et conservaient le titre d'Elohim.

Pour se convaincre de cette vérité, il suffit de jeter les

Digitized by Google

yeux sur une liste des Elohim et de constater ce que signifient leurs noms :

Michael, qui ut Deus.

Gabriel, force de Dieu ; *Raphael,* guérison de Dieu.

Uriel, lumière de Dieu ; *Nouriel,* feu de Dieu ; *Rachmiel,* miséricorde de Dieu.

Tzadkiel, justice de Dieu ; *Tahariel,* pureté, sainteté de Dieu ; *Padael,* délivrance de Dieu ; *Raziel,* mystère de Dieu ; *Jérémiael,* sublimité de Dieu, etc.

Tous ces mots désignent des attributs de Dieu, Jéhovah Elohim est donc littéralement *Celui qui est, a été et sera les dieux,* le principe de la force, de la vie et de la lumière, l'unité et l'ipséité des puissances divines.

Le mot *Jéhovah Elohim* n'est donc pas un terme contradictoire, un nom formé par la juxtà-position de deux noms qui doivent s'exclure ; ce n'est pas la trace de la conciliation de deux cultes ennemis, une alliance du monothéisme et de l'idolâtrie polythéiste, c'est un des noms les plus anciens de la divinité.

Moïse a dit : Celui en qui sont tous nos dieux est le Dieu des dieux, la base des bases, la force des forces.

Toutes les nations, dit Michée, marchant chacune au nom de ses dieux *(Elohim),* nous marchons au nom de Celui en qui sont tous nos dieux.

Jéhovah lui-même parle ainsi de sa nature divine : Parce que je suis moi seul tous les dieux, crains tes dieux ; Celui qui est les dieux. Je serai pour eux tous les dieux.

Digitized by Google

Je suis celui qui suis, qui ai été et qui serai, et qui vous ai fait monter d'Egypte pour vous être comme les dieux. Ne vous tournez pas vers les idoles, ne vous faites pas des dieux de fonte, je suis vos dieux. On respectait ces Elohim, attributs divins ou messagers du Père universel, et qu'on ne devait pas assimiler à l'Etre suprême. N'injurie point et ne maudis point les dieux, dit Moïse. Un homme qui blasphème ses dieux portera sa peine ; quand même ces Elohim aérim, ces dieux étrangers ne seraient que des héros divinisés ou des astres de l'étincelante armée des cieux.

Moïse a sévi avec la dernière rigueur contre ceux qui voulaient représenter Jéhovah sous la figure d'un veau d'or et qui disaient : Voilà celui qui est vos dieux et qui vous a tiré d'Egypte.

Mais pendant la longue épreuve du désert, à côté du culte de Jéhovah subsista celui des dieux *inférieurs*. Moïse permit à Jéthro de sacrifier à ses dieux dans le camp des Hébreux ; l'arche d'alliance le tabernacle de *Moloc* et *Kium*, et les images d'Egypte, et l'*étoile* des dieux que les hommes s'étaient faits marchaient devant Israël, qui leur offrit des gâteaux et des holocaustes durant quarante ans. (Amos, V, 25.)

Josué, près du terme de sa vie, dit aux Israélites, solennellement convoqués : Eloignez les dieux qu'ont suivis vos ancêtres au delà du fleuve (du Jourdain), c'est-à-dire, dans le désert et en Egypte et servez Jéhovah. Ou bien, s'il déplait à vos yeux de servir Jéhovah, choisissez au-

Digitized by Google

jourd'hui celui que vous voudrez servir, si ce sont les dieux qu'ont servis vos ancêtres au delà du Jourdain, si ce sont les dieux de l'Amorrhéen, dont vous habitez le pays, alors moi et ma maison nous servirons Jéhovah.

Je ne multiplierai pas les citations de ce genre, celles-là nous montrent assez comment Moïse employait *Elohim* au pluriel en des passages où il n'était question ni de la Trinité, ni même des attributs inséparables du Dieu suprême, mais simplement des dieux inférieurs.

Ce mot est non moins souvent employé quand il s'agit d'un simple messager, ange ou fils de l'homme.

Moïse fut à Pharaon comme un Elohim, l'Elohim cria du milieu du buisson.

Le pluriel est nécessairement employé dans cette circonstance, puisqu'on n'aurait pu employer le singulier sans élever une puissance secondaire, subalterne, au rang du Dieu unique אל.

Cette distinction suffit dans la traduction correcte pour détruire une foule d'images indignes de la majesté divine, dans les anciennes versions. Ce sont les Elohim, agents de l'œuvre divine, qui agissent, parlent, dirigent et s'irritent, ce n'est pas le Père céleste, le Dieu bon et compatissant, miséricordieux et abondant en grâces.

Loin d'indiquer une lutte de principes contraires, les noms d'Aléim et de Jéhovah sont aussi nécessaires l'un que l'autre.

Ainsi la détermination rigoureuse du sens d'un mot אלהים rend inutiles ces nombreux volumes qui traitent de l'Elôhisme et du Jéhovisme.

Digitized by Google

La crainte du polythéisme a forcé les anciens traducteurs à se maintenir dans une voie obscure et latérale. Gardons-nous de les blâmer de leur réserve, mais ne les imitons pas ; aujourd'hui l'unité de Dieu est assez généralement reconnue pour qu'on renonce à un subterfuge dont on a vu les dangers.

XII.

L'unité d'une œuvre prouve l'individualité de son auteur.

Des arguments d'une autre nature viennent aussi confirmer les preuves tirées de la philologie comparée.

C'est l'unité d'une œuvre qui prouve l'unité et l'individualité de son auteur, or aucune œuvre n'est comparable à un code à la fois religieux, civil et militaire, renfermant dans un livre la pensée, le vœu et l'idéal du législateur.

Quand cette loi est devenue le moule de la forme externe et interne de tout un peuple et la condition de son existence, qui pourrait nier la cause en présence de l'effet? Comment nier à Sparte l'individualité de Lycurgue, ou chez les Musulmans celle de Mahomet? Comment douter de celle de Moïse ?

Quelle loi possède un pareil caractère d'unité ? On ne trouve pas dans la Thora des législations successives et contradictoires, monuments des révolutions intestines. Elle n'est pas un amas de coutumes féodales élevées par la conquête sur les débris d'une institution sacerdotale

Digitized by Google

et dominée par une administration despotique, tempérée par des germes de démocratie.

L'idéal de Moïse est une véritable théocratie, dans le sens le plus élevé de ce mot ; c'est le règne des lois de la justice éternelle dans une société composée de familles égales et libres de tout autre joug que celui du Père céleste.

Le législateur a pris les précautions les plus sages contre toutes les causes des révolutions politiques et sociales.

Pour empêcher l'établissement d'une hiérocratie semblable à celle de l'Egypte, de l'Inde et des vieilles nations celtiques il a dispersé les lévites dans Israël ; il les a privés de toute propriété territoriale.

Pour prévenir les guerres terribles du riche et du pauvre, l'ochlocratie et le despotisme militaire qu'elle entraîne toujours à sa suite, il a établi l'année sabbatique, le Jubilé et le droit de rachat.

Redoutant l'institution de la royauté, il lui a posé d'avance des barrières.

Prévoyant la ruine et la dispersion de son peuple, il a voulu le faire vivre au milieu des conditions de mort qui avaient anéanti les plus grandes nations ; il y est parvenu.

Tel fut Israël aux premiers jours, tel nous le voyons encore aujourd'hui, instruit de sa loi, l'enseignant à ses enfants, la portant gravée sur son front, sur ses mains, aux portes de ses maisons, la conservant dans son sanctuaire.

Digitized by Google

Maimonide, en son livre des égarés, a émis cette pensée décourageante : Si tu éveillais un homme quelconque, même le plus stupide des hommes, comme on éveille quelqu'un qui dort en lui disant : Ne désirerais-tu pas connaître à l'instant ces cieux et savoir quel en est le nombre, quelle en est la figure et ce qu'ils renferment? ce que c'est que les anges? comment a été créé le monde dans son ensemble, et quel en est le but conformément à la disposition réciproque de ses parties? ce que c'est que l'âme et comment elle est arrivée dans le corps? si l'âme de l'homme est séparable (du corps), et, étant séparable, comment, par quel moyen et à quelle fin elle l'est? et d'autres recherches semblables, cet homme répondrait sans doute « Oui, » et il éprouverait un désir naturel de connaître ces choses dans leur réalité ; seulement il voudrait apaiser ce désir et arriver à la connaissance de tout cela par un seul mot ou par deux que tu lui dirais. Cependant si tu lui imposais l'obligation d'interrompre ses affaires pendant une semaine afin de comprendre tout cela, il ne le ferait pas, mais il se contenterait plutôt de fausses imaginations avec lesquelles son âme se tranquillise, et il lui serait désagréable qu'on lui déclarât qu'il existe quelque chose qui a besoin d'une foule de notions préliminaires et de recherches très-prolongées.

Plus confiante que le sage arabe, la science nouvelle ose éveiller à son tour l'homme plongé dans le sommeil de la vie matérielle, moins sévère que le philosophe du moyen âge elle dit :

Digitized by Google

Veux-tu des preuves de l'unité psychologique de l'espèce humaine? Veux-tu savoir ce qu'il y a de vrai au fond des traditions merveilleuses de l'antiquité, ce qu'elles peuvent répandre de lumière sur l'histoire de la parole et de l'Ecriture? Veux-tu comprendre comment dans la prodigieuse diversité des langues, tout revient à l'unité?

Désires-tu savoir clairement ce qu'enseigne, au sujet de chacun des mystères de Dieu, le livre que les deux tiers de l'espèce humaine regardent comme la parole de Dieu, pour tout cela, je ne demande pas de longues études, non, pas même la semaine de Maimonide, mais comme il l'a dit, un seul mot; ce mot, refuseras-tu de l'entendre?

INDEX.

I. Universalité du dogme de l'unité de Dieu et de celui de l'immortalité de l'âme. Moïse accusé de matérialisme et de polythéisme. Faiblesse des arguments produits par ses défenseurs, (301, 306).

II. Nécessité de recourir au texte hébreu (310). Imperfection de la traduction des Septante et de celle de saint Jérôme et de Luther. Caractères de la langue hébraïque à l'époque sacerdotale (316).

III. Méthode analytique, étude directe des noms hébreux de l'âme (320).

IV. Rapport de ces noms avec les noms latins, grecs, chinois, égyptiens, etc. (324, 326).

V. Témoignage de la tradition, קבלה, confirmant celui de l'étude directe des mots נשמה, רוח, נפש (329).

Digitized by Google

Témoignage du rituel israélite (333). Conséquence de cette doctrine. La vie est un moyen d'éducation, une épreuve, suivant la croyance traditionnelle des Hébreux.

VI. Mot à mot raisonné du texte de la Genèse, relatif aux trois principes de la vie, chap. II, v. 7 (337).

Explication des mots ; examen critique des principales traductions ; les Septante, saint Jérôme et Luther (338).

VII. Graves difficultés qui résultent de la confusion des noms hébreux de l'âme ; elles disparaissent par l'intelligence du sens rigoureux de נֶפֶשׁ (342).

VIII. Mot à mot raisonné des versets 2 et 3 du XXVII^e^ chapitre de Job (344). Examen critique des différentes traductions de ce verset : les Septante, la version chaldéenne, la Vulgate, Luther, Soc. bibl. de Londres. Détermination du sens de כִּי et d'עוֹד. Sanctes Pagninus l'a saisi (c'est une profession de foi du dogme de l'immortalité de l'âme). Pourquoi les Septante ont altéré le sens de ces versets (349).

IX. Génie de Moïse, étude de sa loi (350). Détermination du sens des mots *Schéol* et *Réphaïm* (353). נָחַם signifie avoir pitié et non pas se repentir (355).

X. Des trois sectes principales du Mosaïme : Esséniens (365), Pharisiens (361), Saducéens (371).

XI. Moïse est-il l'auteur du Pentateuque (374). Discussions relatives à cette question, elles sont tranchées par la détermination scientifique de la valeur du terme *Jéhovah Elohim* (377).

XII. L'unité d'une œuvre prouve l'individualité de son auteur (384).

Digitized by Google

OUVRAGES IMPRIMÉS

OFFERTS A L'ACADÉMIE EN 1859,

ET

INDICATION DES RAPPORTS

AUXQUELS ILS ONT DONNÉ LIEU.

OUVRAGES DES MEMBRES DE L'ACADÉMIE.

Membres titulaires.

Description d'une nouvelle espèce du genre *Sorbus* découverte dans les Vosges, par M. Godron. Nancy, Grimblot et veuve Raybois, 1858. In-8° de 5 pages.

Méthode pour étudier la langue sanscrite, par MM. E. Burnouf et L. Leupol. Nancy, Vagner, 1859. 1 vol. in-8°.

Le Congrès scientifique de Carlsruhe, par M. J. Nicklès. Nancy, Grimblot et veuve Raybois, 1859. In-8° de 51 pages.

Résumé des observations météorologiques faites à Nancy, pendant l'année 1858, par M. J.-B. Simonin père.

Digitized by Google

Nancy, Grimblot et veuve Raybois, 1859. In-8° de 11 pages et un tableau.

Dissertation sur l'éducation des Sourds-Muets et prospectus d'une méthode de Dactylologie à l'usage des Sourds-Muets, par M. Piroux. Grand in-8° de 14 pages.

Institution des Sourds-Muets et des enfants arriérés des deux sexes établie à Nancy. Année 1858-1859. Circulaire aux parents des élèves, par M. Piroux. In-4° de 8 pages.

De l'espèce et des races dans les êtres organisés et spécialement de l'unité de l'espèce humaine, par M. D. A. Godron. Paris, Baillière (Imprimerie de Grimblot et veuve Raybois à Nancy), 1859. 2 vol. in-8°.

Eloge de M. Fabvier, conseiller à la Cour de cassation, par M. Paillart. Nancy, veuve Raybois et C^ie^, 1859. In-8° de 48 pages et 2 lettres lithographiées.

Eloge de la Province, discours de réception, en vers, par M. Lemachois. Nancy, Grimblot et veuve Raybois, 1859. Grand in-8° de 20 pages.

Rapport sur le service médical des circonscriptions rurales du département de la Meurthe pendant l'exercice de 1858, par M. le docteur Edmond Simonin. Quatrième rapport. Nancy, Grimblot et veuve Raybois, 1859. Grand in-8° de 100 pages.

Sur la propagation de l'Electricité, par M. N.-A. Renard. Nancy, Grimblot et veuve Raybois, 1859. In-8° de 20 pages.

Distribution de l'Electricité dans les corps conducteurs,

Digitized by Google

en partant de l'hypothèse d'un seul fluide (premier mémoire), par M. Renard. Nancy, Grimblot et veuve Raybois, 1859. In-8° de 30 pages.

Institution des Sourds-Muets de Nancy. Distribution des prix du 31 août 1859. Discours prononcé par le Directeur (M. Piroux). Idée de la méthode nancéenne, etc. Nancy, Grimblot et veuve Raybois 1859. In-8° de 76, 15 et 4 pages.

Associés.

Joseph Dombey, naturaliste, par M. Cap.

Etude sur François-Guillaume-Jean-Stanislas Andrieux; Notice sur Jean-Jacques Rousseau, par M. Berville.

Emancipation des serfs; Italie, par Mme Fanny Dénoix des Vergnes.

Coup-d'œil sur les terrains erratiques des Alpes; Recherches sur les glaciers des Alpes de la Suisse, par M. Henry Hogard.

Description et gravures de médailles commémoratives de plusieurs événements intéressant la ville de Metz; Origine probable du placement des pierres antiques incrustées dans la pile du moulin du Therme, à Metz; Notice sur une planche gravée par Sébastien Leclerc; Création des notaires royaux dans la ville de Metz, par M. Chabert.

Lehrbuch der organischen Chemie, par M. Schlossberger. — Commissaires : MM. Blondlot, Godron et Nicklès (Rapporteur).

Digitized by Google

Vaine pâture : des règlements municipaux sur les troupeaux communs et les troupeaux séparés, par le comte VAN DER STRATEN PONTHOZ.

Dissertation sur l'origine des sceaux et sur leur usage, principalement dans l'Evêché de Toul ; De l'origine de l'Intendance dans les trois Evêchés ; Tabellions et notaires, par M. DUFRESNE.

Notice analytique sur les travaux zoologiques, anatomiques et physiologiques, de M. Isidore Geoffroy-de-Saint-Hilaire; Des origines des animaux domestiques; Résumé des leçons sur la question de l'espèce; Discours à la Société impériale d'acclimatation, par M. ISIDORE GEOFFROY-DE-ST-HILAIRE.

Mélanges d'anthropologie pathologique et de médecine mentale : Swedenborg, par M. le docteur B.-A. MOREL.

Etudes physiologiques sur les animalcules des infusions végétales, tome 2e, par M. PAUL LAURENT.

Mémoire sur le sang, par M. P.-S. DENIS (de Commercy).

Notice sur l'abbé Nicole, par M. le comte de BEAUREPAIRE.

Lettres sur l'astronomie, 4e édition ; Les 10 nombres, par M. ALBERT MONTÉMONT.

Des matières fertilisantes, par M. NAPOLÉON NICKLÈS.

Etudes sur les eaux minérales de Sierck ; Etudes hygiéniques sur les eaux potables ; Notice biographique sur L.-J. Begin, par M. GRELLOIS.

Discours prononcé à la Société botanique de France; Sur les plantes dites sommeillantes, par M. FÉE.

Digitized by Google

Sur quelles bases doit être fondé un Musée archéologique, par M. Dupuis.

Etudes sur les moteurs hydrauliques; Note sur la dépense des déversoirs verticaux; Expériences sur les machines à percer les métaux, par M. Clarinval. — Commissaires : MM. Guibal, Lafon et Regnault (Rapporteur).

Index seminum horti botanici imperialis petropolitani, par M. le baron de Kuster.

Additamenta ad thesauruum literaturæ botanicæ G. A. Pritzelii, par M. Ernest de Berg.

Etude sur Gilbert; Du rôle des académies dans la société, par M. Salmon.

Lettre à M. A. de Longpérier sur quelques médailles trouvées en Crimée, par M. Robert.

Le Postillon lorrain, pour 1860, par M. Vagner.

Manuel de construction, par M. Mélin.

Orgue et Pioutim, par M. Gerson Levy.

Les premiers documents liégeois écrits en français; Rapport sur la bibliothèque de la Société liégeoise, par M. Ulysse Capitaine.

De l'assistance médicale dans les campagnes, par M. Constant Saucerotte.

Compte rendu des travaux de l'Académie du Gard, par M. Nicot.

Cinq cartes de Belgique (Brabant, Hainault, Namur, Liége et Luxembourg), par M. Philippe van der Maelen.

Les maisons historiques de Nancy; Faut-il reconstruire

Digitized by Google

St-Epvre, par M. Louis Lallement. — Commissaires : MM. Digot, Grandville et Marchal (rapporteur).

Sulla polarità elettrostatica ; Sulla elettrostatica induzione ; Formule generali del manometro ad aria compressa ; Annunziazione della morte del barone Cauchy, par M. Volpicelli. — Commissaires : MM. Chautard, Denys et J. Nicklès (Rapporteur).

Etudes sur le Rig-Veda ; Introduction à l'histoire des littératures orientales ; Essais sur les mythes des Ribhavas ; Eloge de Ballanche ; Les Pouranas ; Revue des sources nouvelles pour l'antiquité chrétienne ; Des travaux chrétiens sur les Coptes ; De l'histoire des religions ; De la renaissance des études syriaques ; Le Boudhisme et son fondateur ; Hymnes de l'Eglise d'Arménie ; Monuments du Christianisme primitif ; Vie d'Eugène Jacquet ; Le collége des trois langues ; Ozanam et les lettres chrétiennes ; Constantin et Théodose ; Portraits de femmes dans la poésie indienne ; Les chefs belges de la 1re croisade, par M. Nève. — Commissaires : MM. Burnouf, Du Mast (Rapporteur) et Schutz.

Etudes sur Bossuet, par M. Floquet. — Commissaires : MM. Meaume, de Metz et Paillart (Rapporteur).

Nouvelles poésies, par M. Van Hasselt.

Des pèlerinages en Lorraine, par M. l'abbé Guillaume.

Découvertes de sépultures gallo-romaines près des Riceys, par M. Lucien Coutant.

Méthode pour étudier la langue sanscrite (en collaboration avec M. Burnouf) ; Traduction manuscrite de

Digitized by Google

la grammaire sanscrite de Bopp ; Histoire de Lorraine racontée aux enfants, par M. Leupol. — Commissaires : MM. Burnouf, Du Mast (Rapporteur) et Lemachois.

RECUEILS DES SOCIÉTÉS LITTÉRAIRES ET SCIENTIFIQUES.

Mémoires de la Société des Sciences, Lettres et Arts d'Abbeville.

Annales scientifiques, agricoles et industrielles du département de l'Aisne.

Séance publique annuelle de l'Académie des Sciences, Agriculture, Arts et Belles-Lettres d'Aix.

Bulletin de la Société d'Emulation du département de l'Allier.

Mémoires de l'Académie royale des Sciences et Lettres d'Amsterdam.

Mémoires de la Société impériale d'Agriculture, Sciences et Arts d'Angers.

Bulletin de la Société industrielle d'Angers.

I. e R. Accademia Aretina di Scienze, Lettere et Arti (*in Arrezo*).

Mémoires de la Société d'Agriculture, Sciences, Arts et Belles-Lettres de l'Aube.

Mémoires de la Société d'Agriculture, Sciences Arts et Belles-Lettres de Bayeux.

Bulletins de l'Athénée du Beauvaisis.

Travaux de la Société royale des Sciences de Berlin.

Séance publique de l'Académie des Sciences, Belles-Lettres et Arts de Besançon.

Digitized by Google

Société archéologique de Béziers.

Séance publique de l'Académie des Sciences, Arts et Belles-Lettres de Bordeaux.

Procès-verbal de la Séance publique et de la Société d'Agriculture, Commerce et Arts de Boulogne-sur-Mer.

Mémoires et Bulletin de l'Académie royale des Sciences et Belles-Lettres de Bruxelles.

Mémoires de l'Académie royale de Médecine de Belgique.

Annales de l'Académie d'Archéologie de Belgique.

Mémoires de l'Académie impériale des Sciences, Arts et Belles-Lettres de Caen.

Mémoires de la Société d'Agriculture et Commerce de Caen.

Mémoires de la Société des Antiquaires de Normandie (à Caen).

Séance publique et Mémoires de la Société d'Émulation de Cambrai.

Mémoires de la Société des Arts et des Sciences de Carcassonne.

Procès-verbaux des séances de la Société littéraire et scientifique de Castres.

Mémoires de la Société d'Histoire et d'Archéologie de Châlons-sur-Saône.

Mémoires de la Société impériale des Sciences naturelles de Cherbourg.

Annales de l'Auvergne, publiées par la Société des Sciences, Belles-Lettres et Arts de Clermont-Ferrand.

Digitized by Google

Séance publique de l'Académie des Sciences, Arts et Belles-Lettres de Dijon.

Journal d'Agriculture de la Côte-d'Or (à Dijon).

Mémoires de la Société Dunkerquoise, pour l'encouragement des Sciences, des Lettres et des Arts.

Recueil de la Société libre d'Agriculture, Sciences, Arts et Belles-Lettres du département de l'Eure.

Bulletin de la Société archéologique d'Eure-et-Loir.

Mémoires de la Société académique de l'arrondissement de Falaise.

Mémoires de l'Académie du Gard.

Mémoires de la Société de Physique et d'Histoire naturelle de Genève.

Mémoires de l'Académie des Sciences, Arts et Lettres de Hainaut.

Résumé analytique des travaux de la Société Havraise d'études diverses.

Annales de la Société d'Agriculture, Sciences, Arts et Belles-Lettres du département d'Indre-et-Loire.

Recueil des travaux de la Société médicale du département d'Indre-et-Loire.

Précis des travaux de la Société d'Emulation du Jura.

Travaux de la Société d'Emulation de Liége.

Bulletin de l'Institut archéologique liégeois.

Mémoires de la Société des Sciences, Lettres et Arts de Lille.

Mémoires de la Société des Sciences naturelles du grand duché de Luxembourg.

Digitized by Google

Mémoires de l'Académie des Sciences, Belles-Lettres et Arts de Lyon.

Annales de Sciences physiques et naturelles, d'Agriculture et d'Industrie de Lyon.

Compte rendu des travaux de la Société d'Agriculture, Sciences et Belles-Lettres de Mâcon.

Séance publique de la Société d'Agriculture du département de la Marne.

Bulletin semestriel de la Société de médecine de Marseille.

Société d'Agriculture, Sciences et Arts de Meaux.

Mémoires et analyses des travaux de la Société d'Agriculture, Commerce, Sciences et Arts de Mende.

Mémoires de l'Académie impériale des Lettres, Sciences et Arts de Metz.

Sommaire des travaux de la Société des Sciences médicales du département de la Moselle.

Mémoires de la Société d'Histoire naturelle du département de la Moselle.

Mémoires et Bulletin de la Société d'Archéologie et d'Histoire de la Moselle.

Bulletin de la Société d'Horticulture du département de la Moselle.

Travaux de la Société d'Emulation de Montbéliard.

Mémoires de la Société des Antiquaires de la Morinie (à Saint-Omer).

Mémoires de l'Académie de Munich.

Compte rendu des travaux de la Société de Médecine de Nancy.

Digitized by Google

Bulletin de la Société régionale d'Acclimatation pour le N.-E., à Nancy.

Bulletin de la Société d'Archéologie lorraine (à Nancy).

Journal de la Société d'Archéologie et du Comité du Musée lorrain.

Le Bon Cultivateur, publié par la Société centrale d'Agriculture de Nancy.

Société de Saint-Vincent-de-Paul de Nancy.

Société de Saint-François-Régis de Nancy.

Annales de la Société académique de Nantes.

Journal de la Section de Médecine de la Société académique de la Loire-Inférieure (à Nantes).

Mémoires de l'Académie impériale des Sciences de l'Institut de France.

Mémoires, Bulletins et Annuaire de la Société des Antiquaires de France.

Annuaire de l'Institut des Provinces et des Congrès scientifiques de France.

Journal des travaux de l'Académie impériale, agricole, manufacturière et commerciale, et de la Société française de Statistique universelle.

Séance publique de la Société libre des Beaux-Arts de Paris.

Assemblée générale et Journal de la Société de la Morale chrétienne.

Compte rendu des travaux de la Société Philotechnique de Paris.

Bulletin de la Société des Antiquaires de Picardie.

Digitized by Google

Mémoires de la Société d'Agriculture, Sciences et Arts du Puy.

Bulletin de la Société des Pyrénées orientales.

Séances et travaux de l'Académie de Reims.

Compte rendu des travaux de la Société des Sciences de Rennes.

Société d'Agriculture, Sciences et Belles-Lettres de Rochefort.

Atti dell' Accademia pontificia de' nuovi Lincei (in Roma).

Précis analytique des travaux de l'Académie des Sciences, Belles-Lettres et Arts de Rouen.

Séance publique de la Société libre d'Emulation de Rouen.

Bulletin de la Société de Médecine de Rouen.

Recueil de la Société d'Agriculture de la Seine-Inférieure (á Rouen).

Bulletin de l'Académie impériale des Sciences de Saint-Pétersbourg.

Mémoires de la Société d'Archéologie et de Numismatique de Saint-Pétersbourg.

Bulletin des travaux de la Société industrielle de Saint-Quentin.

Mémoires de la Société des Sciences morales, des Lettres et des Arts de Seine-et-Oise.

Mémoires de la Société d'Agriculture et des Arts du département de Seine-et-Oise.

Rapports annuels de la Société Smithsonienne.

Digitized by Google

Mémoires de l'Académie des Sciences, Agriculture, Belles-Lettres et Arts du département de la Somme.

Mémoires de la Société d'Histoire naturelle de Strasbourg.

Nouveaux Mémoires de la Société des Sciences, Agriculture et Arts du Bas-Rhin (à Strasbourg).

Recueil agronomique publié par la Société d'Agriculture de Tarn-et-Garonne.

Mémoires de la Société des Sciences, Inscriptions et Belles-Lettres de Toulouse.

Séances publiques et Comptes rendus de la Société de Médecine, Chirurgie et Pharmacie de Toulouse.

Mémoires de la Société Archéologique de Touraine.

Bulletin de la Société historique et littéraire de Tournay.

Bulletin des Séances de la Société Vaudoise des Sciences naturelles.

Mémoires de la Société Philomatique de Verdun.

Annales de l'Institut impérial et royal de géologie de Vienne, en Autriche.

Annales de la Société d'Emulation des Vosges.

ENVOIS DIVERS.

Observations sur les phénomènes d'érosion en Norvège, par M. Horbye.

Quelques observations de morphologie végétale au jardin de Christiania, par M. Norman.

Inversio vesicæ urinariæ, par M. Voss.

Physikalske Meddelelser, par M. Hansteen.

Digitized by Google

Rentrée solennelle des Facultés des sciences et des lettres et de l'Ecole de médecine et de pharmacie de Nancy, le 15 novembre 1859.

Mémoire sur le commerce maritime de Rouen, par M. Ernest de Fréville.

De la liberté de l'intérêt, par M. Liégeois.

Hommage rendu à la mémoire de M. J.-B. Mougeot, par M. le comte Jaubert.

Notice sur une cloche fondue par Morel de Lyon, par M. l'abbé Corblet.

Notes historiques et généalogiques sur Pontry de la Garde, par M. Mahul.

Notice biographique sur Claude Daunot, par M. Guillaume.

Des noms historiques à donner aux rues de Nancy, par M. Léon Mougenot.

Istoria fiorentina di Leonardo Aretino, tradotta in volgare, Tomo 2°, par M. Acciajuoli.

Congrès scientifique de France, tenu à Auxerre *en 1858.*

Recherches sur la famille de Nicolazo de Barmon, par M. de Pontaumont.

Quelques données antiques sur le quartier de l'Ile de la ville de Liége, par le chevalier du Vivier de Streel.

Histoire du comté de Chiny, tome 2°, par M. Jeantin.

Discours prononcé aux funérailles de M. Gergonne, par M. Paul Gervais.

Famille de Le Bidart de Thumaide, par M. de Glatigny.

De l'application de l'électricité au traitement de l'aliénation mentale, par M. Teilleux.

Digitized by Google

Les deux arithmétiques, la décimale et la duodécimale, par M. Gautier.

Rapport sur le plan d'un dictionnaire géographique de la France, par M. Léopold Delisle.

Les deux propriétaires, par M. Aug. Galimard.

Notice sur Cl. Xavier Girault, par M. Louis Girault.

Essais sur les armoiries des Souverains et Etats de l'Europe, par M. Van der Maelen fils.

Pasigraphie mittels arabischer Zahlzeigen, par M. Moses Paiç.

De l'alcool et des composés alcooliques en chirurgie, par MM. Batailhé et Guillet.

La vérité sur les femmes, par M. Bidaut.

Digitized by Google

Digitized by Google

TABLEAU DES MEMBRES

COMPOSANT

L'ACADÉMIE DE STANISLAS [1]

SUIVANT L'ORDRE DE RÉCEPTION.

(JUILLET 1860.)

BUREAU.

Président : M. Alexandre de METZ-NOBLAT.
Vice-Président : M. NICKLÈS.
Secrétaire perpétuel : M. Edmond SIMONIN.
Secrétaire annuel : M. LEMACHOIS.
Bibliothécaire-Archiviste : M. SOYER-WILLEMET.

MEMBRE HONORAIRE.

1859. 7 Janv. M. le comte de SAINT-MAURIS, ancien Introducteur des Ambassadeurs. (Titulaire depuis le 7 mars 1856).

(1) L'Académie, fondée par STANISLAS, le 28 Décembre 1750, et supprimée avec les autres Académies et Sociétés savantes et littéraires de France, le 8 Août 1793, a été rétablie le 25 juillet 1802.

Digitized by Google

MEMBRES TITULAIRES.

1822. 7 Févr. M. Soyer-Willemet, Bibliothécaire en chef de la ville.

1824. 3 Mai. M. Baillard, ancien Professeur de Rhétorique.

1826. 13 Avril. M. le baron de Dumast, ancien Sous-Intendant militaire (Associé depuis le 5 Juin 1817).

1828. 3 Janv. M. Gérard-Grandville, Secrétaire en chef de la Mairie.

1830. 1er Avril. M. Auguste Monnier, Président de la Société centrale d'Agriculture.

1831. 3 Mars. M. Piroux, Directeur de l'Institution des Sourds-Muets.

1833. 4 Juil. M. Guibal, ancien Professeur à l'École d'artillerie de Valence (Associé depuis le 2 Juillet 1818).

1834. 18 Déc. M. Regneault, Professeur de Mathématiques à l'École impériale forestière.

1838. 7 Juin. M. Simonin père, Directeur honoraire de l'École de Médecine et de Pharmacie.

1840. 5 Mars. M. Godron, Doyen de la Faculté des Sciences.

1842. 25 Août. M. Beaupré, Conseiller à la Cour impériale (Associé depuis le 28 Novembre 1839).

10 Nov. M. Schütz, Homme de lettres.

1843. 19 Janv. M. Edmond Simonin, Directeur de l'École de Médecine (Associé depuis le 4 Février 1841).

1844. 4 Janv. M. Blondlot, Professeur à l'École de Médecine.

1846. 19 Nov. M. Digot, Docteur en Droit (Associé depuis le 11 Novembre 1841).

Digitized by Google

1849. 1er Fév. M. le comte DE WARREN, homme de lettres (Associé depuis le 18 Mai 1846).

1850. 21 Nov. M. MOREY, Architecte de la ville (Associé depuis le 2 Mai 1850).

19 Déc. M. MARCHAL, Ancien curé de la paroisse Saint-Pierre.

1851. 6 Févr. M. MEAUME, Professeur de Législation et de Jurisprudence à l'Ecole impériale forestière (Associé depuis le 18 Mai 1846).

1852. 24 Juin. M. PAILLART, Premier Président honoraire de la Cour impériale.

1853. 6 Janv. M. DE METZ-NOBLAT, Homme de lettres.

24 Févr. M. le baron DE SAINT-VINCENT, Conseiller à la Cour impériale.

1854. 24 Mars. M. Léon PARISOT, Professeur à l'École de Médecine.

17 Nov. M. BENOIT, Doyen de la Faculté des Lettres (Associé depuis le 7 Janvier 1847).

1855. 2 Févr. M. NICKLÈS, Professeur de Chimie à la Faculté des Sciences.

M. BURNOUF, Professeur de Littérature ancienne à la Faculté des Lettres.

16 Févr. M. MÉZIÈRES, Professeur de Littérature étrangère à la Faculté des Lettres.

M. LACROIX, Professeur d'Histoire à la Faculté des Lettres.

27 Avril. M. CHAUTARD, Professeur de Physique à la Faculté des Sciences.

1856. 18 Janv. M. LEMACHOIS, Homme de lettres.

1857. 22 Janv. M. A. DE MARGERIE, Professeur de Philosophie à la Faculté des Lettres de Nancy (Associé depuis le 10 Juillet 1857).

Digitized by Google

1858. 24 Déc. M. DUCHESNE, Professeur au Lycée impérial de Nancy (Associé depuis le 14 mai 1858).

1859. 7 Janv. M. LAFON, professeur de mathématiques à la Faculté des Sciences (Associé depuis le 14 mai 1858).

1860. 3 Fév. M. RENARD, Professeur de Mathématiques à la Faculté des Sciences (Associé depuis le 10 déc. 1858).

M. Edouard COURNAULT, Homme de lettres (Associé depuis le 25 mai 1855).

ASSOCIÉS-CORRESPONDANTS NATIONAUX (1).

1°

1802. 22 Sept. M. HOLANDRE, Conservateur du Cabinet d'histoire naturelle, à Metz.

1816. 29 Août. M. GÉRARDIN, Membre de l'Académie impériale de Médecine, à Maidières.

1822. 29 Août. M. DE ROGUIER, Conseiller à la Cour impériale de Nancy.

1825. 1er Déc. M. VEYLAND, Homme de lettres, à Metz.

M. DENIS, Docteur en Médecine, à Toul.

1829. 2 Avril. M. Constant SAUCEROTTE, Médecin en chef de l'hôpital de Lunéville.

---

(1) La Liste des Associés-correspondants nationaux est partagée en deux catégories, conformément à l'art. 1er du Règlement.

La première catégorie comprend les Membres qui résident dans la circonscription de l'ancienne Lorraine; la seconde, les Membres qui ne résident pas dans cette circonscription.

Digitized by Google

1837. 20 Avril. M. Henri Hogard, Agent voyer en chef du département des Vosges, à Épinal.

7 Juin. M. Maggiolo, Inspecteur d'Académie, à Bar-le-Duc (Meuse).

1838. 8 Nov. M. Putegnat, Docteur en Médecine, à Lunéville, Correspondant de l'Académie impériale de Médecine.

1839. 17 Janv. M. Chatelain, Architecte, à Nancy.

Mme Élise Voïart, à Nancy.

14 Nov. M. Clesse, Homme de lettres, à Commercy.

1840. 5 Mars. M. Vagner, Homme de lettres, à Nancy.

19 Mars. M. Lepage, Archiviste du département (Titulaire du 18 novembre 1847, au 18 novembre 1859).

19 Juil. M. Mougeot, Docteur en Médecine, à Bruyères.

26 Nov. M. Jandel, Architecte, à Lunéville.

17 Déc. M. Grillot, Architecte, à Nancy.

1841. 16 Déc. M. Justin Bonnaire, Avocat, à Nancy.

M. Gaulard, Professeur au Collége de Mirecourt.

1842. 12 Mai. M. Bergery, Correspondant de l'Institut (Académie des Sciences morales et politiques), à Metz.

1843. 2 Fév. M. l'abbé Guillaume, aumônier de la chapelle ducale, à Nancy.

1844. 2 Mai. M. Alfred Malherbe, Vice-Président du Tribunal de première instance, à Metz.

20 Juin. M. Dumont, Juge au Tribunal de première instance, à Saint-Mihiel.

1845. 7 Mars. M. Idoux, Professeur de Mathématiques spéciales au Collége de Lunéville.

1846. 18 Mai. M. l'abbé Clouet, Conservateur de la bibliothèque publique de Verdun.

Digitized by Google

M. Gillet, Vice-Président du Tribunal, à Nancy.

M. Mathieu, Professeur d'Histoire naturelle à l'École impériale forestière.

1846. 18 Mai. M. Salmon, Conseiller à la Cour impériale de Metz.

1847. 17 Juin. M. Ernest Puton, Naturaliste, à Remiremont.

17 Juin. M. Lebrun, Naturaliste, à Lunéville.

1849. 21 Juin. M. Husson, Géologue, à Toul.

1850. 2 Mai. M. Denys, Avocat, à Nancy (Titulaire jusqu'au 14 Décembre 1854).

5 Déc. M. Chapia, Curé de Vittel.

M. l'abbé Régnier, ancien Juge de paix, à Nancy.

M. Alex. Gény, Peintre, à Nancy.

M. Charpillet, Homme de lettres, à Nancy.

1853. 5 Août. M. Henriot, Juge de paix, à Bar-le-Duc.

M. Grellois, Secrétaire du Conseil de santé des armées, à Paris.

1854. 23 Juin. M. de Mardigny, Ingénieur des Ponts et Chaussées, à Bar-le-Duc.

15 Déc. M. Gerson-Lévy, Membre de l'Académie impériale de Metz.

M. le comte Van der Straten-Ponthoz, Membre de l'Académie impériale de Metz.

21 Déc. M. Vuillaume, Professeur au Séminaire de Châtel-sur-Moselle.

M. Chabert, Membre de l'Académie impériale de Metz.

1856. 19 Déc. M. Scoutteten, Médecin principal, à Metz.

Digitized by Google

M. Bénard, aîné, Principal du Collége de Sarrebourg (Meurthe).

1858. 8 Janv. M. Paulus, Peintre à Nancy.

1858. 14 Mai. M. Charles Cournault, peintre à Malzéville, près Nancy.

M. Mélin, architecte, Professeur de travaux graphiques.

25 Juin. M. P. Laurent, ancien Inspecteur des eaux et forêts (Titulaire du 10 mai 1826 jusqu'au 25 juin 1858).

10 Déc. M. Alfred Claudel, Homme de lettres, à Epinal.

M. Bloch, Industriel,

1859. 21 Janv. Gomont, Homme de lettres, à Nancy.

7 Mai. M. Clarinval, Professeur à l'Ecole d'application de l'artillerie et du génie à Metz.

30 Déc. M. Leupol, Homme de lettres à Nancy.

M. Louis Lallemant, Avocat à Nancy.

1860. 20 Avril. M. Forthomme, Professeur de Physique au Lycée Impérial de Nancy.

1860. 20 Avril. M. Henry, Professeur d'Histoire au Lycée Impérial de Nancy.

2°

1806. 8 Fév. M. Guenau d'Aumont, Professeur honoraire de Faculté, à Dijon (Titulaire jusqu'au 14 Décembre 1809).

8 Mars. M. Biot, Membre de l'Institut (Académie des Sciences et des Inscriptions), à Paris.

1813. 1er Juil. M. Girard, Docteur en Médecine, à Lyon.

1814. 5 Mai. M. Villaume, ex-Chirurgien en chef de l'hôpital militaire d'Instruction de Metz, à Paris.

Digitized by Google

5 Déc. M. Moreau de Jonnès, Membre de l'Institut (Académie des Sciences morales et politiques), à Paris.

1819. 1er Juil. M. Boucharlat, Professeur de Mathématiques et Littérateur, à Paris.

1820. 20 Avril. M. Desnanot, Recteur honoraire, à Clermont.

1820. 9 Nov. M. Herpin, Docteur en Médecine, à Paris.

1821. 1er Févr. M. de Thieriet, Professeur à la Faculté de Droit de Strasbourg (Titulaire jusqu'en septembre 1830).

15 Mars. M. Fée, Professeur à la Faculté de Médecine de Strasbourg.

7 Juin. M. Albert Montémont, Littérateur, à Paris.

1822. 29 Août. M. Gaultier de Claubry, Membre de l'Académie impériale de médecine, à Paris.

M. Villermé, Membre de l'Institut (Académie des Sciences morales et politiques), à Paris.

1823. 17 Avril. M. Monfalcon, Docteur en Médecine, à Lyon.

1824. 22 Avril. M. Rapou, Docteur en Médecine, à Lyon.

8 Juil. M. Deshayes, Docteur en Médecine et *Naturaliste*, à Paris.

2 Déc. M. le marquis de Foresta, ancien Préfet de la Meurthe (Titulaire jusqu'au 15 février 1828).

1825. 14 Juil. M. Alexis Donnet, Ingénieur-Géographe, à Paris.

3 Août. M. Nicot, ancien Recteur de l'Académie de Nimes.

1827. 2 Août. M. Saphary, ancien Professeur de Philosophie au Lycée Bonaparte, à Paris.

1828. 7 Févr. M. Charles Malo, Littérateur, à Paris.

3 Avril. M. César Moreau, Directeur de l'Académie de l'industrie, à Paris.

Digitized by Google

24 Avril. M. Le Roy d'Étiolles, Docteur en Médecine, à Paris.

1829. 8 Janv. M. Henrion, Conseiller à la Cour impériale de la Guadeloupe (Antilles).

1830. 7 Janv. M. Léonard Chodzko, Historien, à Paris.

13 Mars. M. Gatien Arnoult, Professeur de Philosophie à la Faculté des Lettres de Toulouse (Titulaire jusqu'en novembre 1830).

1832. 2 Févr. M. Berger de Xivrey, Membre de l'Institut (Académie des Inscriptions), à Paris.

2 Fév. M. Girardin, Correspondant de l'Institut (Académie des Sciences), Professeur de Chimie, à Rouen.

1833. 3 Avril. M. Perron, Chef de Section au Ministère d'État, à Paris (Titulaire jusqu'en septembre 1834).

1835. 26 Mars. M. de Saulcy, Membre de l'Institut (Académie des Inscriptions), Conservateur du Musée d'artillerie, à Paris.

M. Docteur, Homme de lettres, à Remiremont.

6 Août. M. Bouillet, Géologue, à Clermont-Ferrand.

1836. 10 Nov. Mgr. Delalle, Evêque de Rhodez.

24 Nov. M. Person, Professeur de Physique à la Faculté des Sciences de Besançon.

1837. 5 Janv. M. Dugas de Beaulieu, Membre de la Société des Antiquaires de France, à Paris.

13 Avril. M. Franck, Membre de l'Institut (Acad. des Sciences morales et politiques), (Titulaire jusqu'au 8 novembre 1838).

18 Mai. M. Martin-Saint-Ange, Docteur en Médecine, à Paris.

23 Nov. M. Boullée, ancien Magistrat, à Lyon.

Digitized by Google

1838. 5 Avril. M. VIOLETTE, Commissaire en chef des poudres et salpêtres, à Lille.

1839. 10 Janv. M. BOILEAU, Chef d'Escadrons d'artillerie, à Thionville.

25 Avril. M. PERROT, Principal du Collége de Haguenau.

1839. 2 Mai. M. BÉNARD, Professeur de Philosophie au Lycée Saint-Louis (Titulaire depuis le 14 novembre 1839 jusqu'en novembre 1840).

18 Juil. M. ROLLET, Médecin en chef de l'Hôpital militaire de Bordeaux (Titulaire jusqu'au 10 novembre 1842).

1er Août. Mme Fanny DÉNOIX DES VERGNES, à Beauvais.

29 Août. M. RIANT, Aumônier du Lycée, à Strasbourg.

1840. 16 Janv. M. THEIL, Professeur au Lycée Saint-Louis, à Paris.

6 Fév. Mme Amable TASTU, à Paris.

7 Mai. M. GINDRE DE MANCY, Littérateur, à Paris.

18 Juin. M. JOGUET, Proviseur du Lycée, à Reims (Titulaire jusqu'en Février 1852).

16 Juil. M. AVENEL, Docteur en Médecine, à Rouen.

20 Août. M. DE CAUMONT, Correspondant de l'Institut (Académie des Inscriptions), à Caen.

3 Déc. M. Jacques BRESSON, Publiciste, à Paris.

M. PERREY, Professeur à la Faculté des Sciences, à Dijon.

1841. 7 Janv. M. JARDOT, Chef d'escadrons au corps d'État-major, à Paris.

26 Août. M. MOIGNO, Mathématicien, à Paris.

18 Nov. M. MILLER, Bibliothécaire du Corps législatif, à Paris.

Digitized by Google

16 Déc. M. Raymond Thomassy, ancien Élève de l'École des chartes, à Paris.

1842. 17 Mars. M. Grenier, Professeur à la Faculté des Sciences et à l'École de Médecine, à Besançon.

7 Avril. M. le marquis de Roys, Géologue, à Paris.

1843. 5 Janv. M. Archambault, Docteur en Médecine, à Paris (Titulaire jusqu'en juillet 1848).

2 Mars. M. Magin-Marrens, Inspecteur-général de l'Instruction primaire, à Paris (Titulaire jusqu'en septembre 1846).

16 Mars. M. Liouville, Membre de l'Institut (Académie des Sciences), à Paris.

7 Déc. M. Hubert-Valleroux, Docteur en Médecine, à Paris.

1844. 22 Févr. M. Levallois, Inspecteur-général des mines (Titulaire jusqu'en avril 1848).

4 Juillet. M. Guillaume, Docteur en Médecine, à Moissey (Jura).

14 Nov. M. Lubanski, Docteur en Médecine, au château de Long-Chêne, près de Saint-Genis-Laval (Rhône).

1845. 7 Mars. M. Robert, Sous-Intendant militaire, à Aix (Bouches-du-Rhône).

14 Déc. M. l'abbé Cruice, Docteur ès lettres, Supérieur de l'école des Carmes, à Paris.

M. Hermite, Mathématicien, à Paris.

1847. 17 Juin. M. le comte Léonce de Lambertye, au château de La Chaltrait, près d'Épernay.

5 Août. M. Caresme, Proviseur du lycée Napoléon, à Paris (Titulaire jusqu'en Décembre 1851).

Digitized by Google

1847. 23 Déc. M. Delezenne, Correspondant de l'Institut (Académie des Sciences), à Lille.

M. Serret, Mathématicien, à Paris.

M. Aymar-Bression, Homme de lettres, à Paris.

1849. 21 Juin. M. Jules Guérin, Membre de l'Académie impériale de Médecine, à Paris.

5 Déc. M. Flourens, Membre de l'Académie Française, Secrétaire-perpétuel de l'Académie des Sciences, à Paris.

M. Barthélemy de Beauregard, Chanoine honoraire de Reims, à Paris.

1852. 8 Janv. M. Ath. Renard, Médecin-Inspecteur des eaux, à Bourbonne-les-Bains.

M. G. Boulangé, ingénieur des Ponts et Chaussées à Paris.

M. Lucien Coutant, Président de la Société de Sphragistique, à Paris.

1er Avril. M. Planchon, Professeur à la Faculté des Sciences, à Montpellier (Titulaire *jusqu'au* 23 Avril 1853).

M. Guillemin, Recteur de l'Académie de Douai (Titulaire jusqu'au 14 septembre 1853).

16 Déc. M. Morel, Médecin en chef de l'Asile d'aliénés de Saint-Yon, à Rouen.

M. Henri d'Arbois de Jubainville, Archiviste du département, à Troyes.

1853. 5 Août. M. Colson, Docteur en médecine, à Noyon.

1854. 23 Juin. M. Berville, ancien Président de chambre à la Cour impériale de Paris.

Digitized by Google

1854. 23 Juin. M. Dupuis, Conseiller à la Cour impériale d'Orléans.

M. Guillory aîné, Président de la Soiété industrielle, à Angers.

15 Déc. M. Constant Dubos, Docteur en Médecine, à Paris.

M. Armandi, Général, Bibliothécaire du palais de Saint-Cloud.

1855. 16 Fév. M. Saudbreuil, Premier avocat général à Aix (Titulaire jusqu'au 31 octobre 1855).

30 Mars. M. Lemoine, Professeur de philosophie à la Faculté des Lettres de Bordeaux (Titulaire jusqu'au 7 janvier 1856).

25 mai. M. Séguin, Professeur à la Faculté des Sciences, à Grenoble.

M. Nicklès, Pharmacien, à Benfeld (Bas-Rhin).

M. E. de Barthelémy, Correspondant des Comités historiques (Marne).

21 Déc. M. Garcin de Tassy, Membre de l'Institut, à Paris.

M. Bergmann, Professeur à la Faculté des Lettres, à Strasbourg.

1856. 19 Déc. M. Isidore Geoffroy-Saint-Hilaire, Membre de l'Institut (Académie des Sciences).

M. Robin (Edouard), Professeur de Chimie, à Paris.

M. le Comte de Baurepaire, ancien Ministre plénipotentiaire, à Louvagny, par Iort.

1857. 10 juil. M. Cap, Directeur du Journal de Pharmacie et de Chimie, à Paris.

M. Cherbonneau, Professeur de langue arabe, à la chaire de Constantine (Algérie).

Digitized by Google

1857. 18 juil. M. BERNOT, Professeur au Lycée de Langres (Haute-Marne).

M. J. BARD, Vice-Président du Comice agricole, à Demigny, par Chagny (Saône-et-Loire).

1858. 14 Mai. M. BRAUN, Président du Consistoire supérieur et du Directoire de l'Eglise de la confession d'Ausbourg, à Strasbourg.

1859. 7 Janv. DE CHERRIER, Membre de l'Institut (Académie des Inscriptions et Belles-Lettres), à Paris.

30 Déc. M. FLOQUET, Correspondant de l'Institut (Académie des Inscriptions et Belles-Lettres), à Paris.

ASSOCIÉS-CORRESPONDANTS ÉTRANGERS.

1820. 9 Nov. M. RANZANI, Professeur d'Histoire naturelle, à Bologne.

1822. 14 Nov. M. DE BLARAMBERG, Conseiller d'État, à Odessa.

1823. 28 Août. M. ROBLEY-DUNGLISSON, Docteur en Médecine, à Charlottsville (Virginie).

1825. 1er Déc. M. PESCHIER, Docteur en Médecine, à Genève.

1828. 3 Janv. M. le vicomte DE KERCKHOVE, dit DE KIRCKHOFF, Docteur en Médecine, à Anvers.

3 Avril. M. LA ROCHE, Docteur en Médecine, à Philadelphie.

1829. 8 Janv. M. HEYFELDER, Médecin de Mme la Princesse douairière de Hohenzollern-Siegmaringen, à Trèves.

3 Déc. M. GLOESENER, Professeur de Physique, à Liége.

1834. 18 Déc. M. VAN HONSEBROUCK, Docteur en Médecine, à Anvers.

1835. 8 Janv. M. QUÉTELET, Correspondant de l'Institut (Académie des Sciences morales et politiques), à Bruxelles.

Digitized by Google

26 Mars. M. Carmoly, ancien Grand Rabbin de Belgique, à Bruxelles.

1836. 10 Mars. M. le chevalier Antinori, Directeur du Musée d'Histoire naturelle et de Physique de Florence.

1838. 15 Mars. M. Alphonse de Candolle, Directeur du Jardin de Botanique de Genève.

1839. 22 Août. M. Philippe Van der maelen, Fondateur et propriétaire de l'établissement géographique de Bruxelles.

1840. 5 Mars. M. le vicomte de Santarem, Correspondant de l'Institut (Académie des Inscriptions), à Paris.

1842. 4 Août. M. Thiéry, Docteur en Médecine, à la Nouvelle-Orléans.

1844. 4 Janvier. M. Van-Hasselt, Littérateur, à Bruxelles.

18 Janv. M. Wartmann, Professeur de Physique à l'Académie de Genève.

22 Août. M. Pierre Savi, Directeur du Jardin botanique de Pise.

1845. 14 Déc. M. de Larive, ancien Professeur de physique, Correspondant de l'Institut (Académie des Sciences), à Genève.

1847. 23 Déc. M. l'abbé Zantedeschi, Professeur de physique, à l'Université de Padoue.

1850. 5 Déc. M. le Chevalier de Le Bidart de Thumaide, Magistrat honoraire de 1re classe à Liége.

M. Karsten, Docteur en philosophie, secrétaire de la Société de physique de Berlin.

1853. 7 Avril. M. Reuter, Directeur du Jardin botanique de Genève.

16 Déc. M. N. Piccolos, Helléniste, à Paris.

Digitized by Google

M. F. Frocheur, Conservateur-Adjoint des manuscrits de la Bibliothèque Royale, à Bruxelles.

1855. 21 Déc. M. Ulysse Capitaine, Secrétaire de l'Institut archéologique de Liége.

1856. 5 Déc. M. Brosset, Membre de l'Académie impériale, à Saint-Pétersbourg.

5 Déc. M. De Berg, Conservateur de la bibliothèque du jardin botanique impérial, à Saint-Pétersbourg.

19 Déc. M. Paques, Professeur à l'Athénée royal, à Liége.

1857. 23 janv. M. Haidinger, Président de l'Académie impériale géologique, à Vienne.

1858. 10 Déc. M. Le Baron de Kuster, Directeur du Jardin impérial de botanique de Saint-Pétersbourg.

10 Déc. M. Forchhammer, professeur à l'Université de Kiel.

1859. 7 Mai. M. Schlossberger, professeur de chimie à l'Université de Tubingen.

30 Déc. M. Noeve, Professeur à l'Université de Louvain.

1860. 20 Avril. M. Volpicelli, Professeur de Physique, à Rome.

Digitized by Google

TABLE DES MATIÈRES.

Nota. Tous les mémoires qui ne portent que l'indication de la page, appartiennent au tome I.

Présidence de M. Benoit.

Séance publique du 31 mai 1860.

Compte rendu annuel (1859), par M. Lemachois. v

De l'union de la Philosophie et de la Littérature au XVIIe siècle, discours de réception, par M. Amédée de Margerie. XIX

Eloge de M. de Caumont, discours de réception (en vers), par M. J. Duchesne. XLI

Réponse du Président (M. A. de Metz-Noblat), aux récipiendaires. LX

Mémoires dont l'Académie a voté l'impression.

Sur quelques perfectionnements à apporter dans l'établissement des fistules gastriques artificielles, par. M. Blondlot (8 janvier 1858). 29

Influence des corps gras sur la solubilité de l'acide arsénieux, considérée dans leurs rapports avec la toxicologie, par le même (13 mai 1859). 38

Sur les bromures et les iodures définis du bismuth, de l'antimoine et de l'arsenic, par M. J. Nicklès (15 avril 1859). 434

Production de l'iodure d'arsenic sous forme définie, par le même (5 août 1859). 464

Sur une modification allotropique du soufre, par le même (17 février 1860). 459

Sur un mode de décomposition du sel gemme, par le même (30 mars 1860). 461

Digitized by Google

Les Electro-aimants et l'adhérence magnétique, par LE MÊME (30 décembre 1859). II. 1
Sur la propagation de l'électricité, par M. N. A. RENARD (18 mars 1859). 1
Mémoire sur la propagation des courants électriques ; résumé des expériences faites à Nancy, par MM. CLAUDE GUILLEMIN et EMILE BURNOUF (16 décembre 1859). 414
Résumé des observations météorologiques et médicales faites à Nancy pendant l'année 1859, par M. le docteur SIMONIN père (3 février 1860). 442
L'Esprit de Moïse, par M. FERDINAND SCHÜTZ (20 mai 1859). II. 301
Note sur le Panthéon Buddhique au royaume de Siam, seconde partie, par M. EMILE BURNOUF (5 août 1859). 430
Mémoire sur la chute des Jésuites, par M. DE METZ-NOBLAT (1er juillet 1859). 311
Quel est le premier livre imprimé en Lorraine ? par M. CLESSE (17 juin 1859). 20
Recherches sur la vie et les ouvrages de Jacques Callot. Troisième et dernière partie, par M. E. MEAUME (18 novembre 1852). 58
Réplique imaginaire adressée par l'un des vétérans de l'Académie à M. Duchesne, par M. G. DU MAST (4 mai 1860). 469

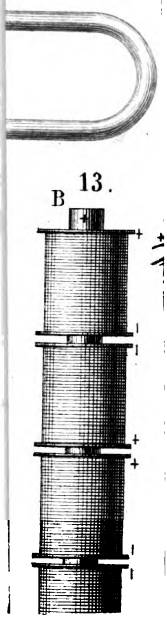
Ouvrages imprimés offerts à l'Académie en 1859, et indication des rapports auxquels ils ont donné lieu. 589
Tableau des Membres composant l'Académie (juillet 1860). 405

FIN DE LA TABLE.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

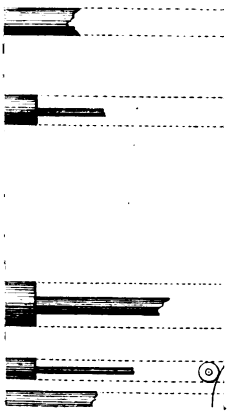


Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

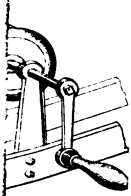


Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google



Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Princeton University Library
32101 073495234

Digitized by Google